

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**  
**FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS**



**TESIS DOCTORAL**

**Hidrogeología regional de la cuenca terciaria del río  
Alberche**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR  
PRESENTADA POR

**Antonio Sastre Merlín**

DIRECTOR:

**Ramón Llamas**

**Madrid, 2015**

TP  
1983  
224

Antonio Sastre Merlín



X-53-031489-3

HIDROGEOLOGIA REGIONAL DE LA CUENCA TERCIARIA  
DEL RIO ALBERCHE



ARCHIVO

Departamento de Geomorfología y Geotécnica  
Facultad de Geología  
Universidad Complutense de Madrid  
1983



Colección Tesis Doctorales. Nº 224/83

© Antonio Sastre Merlín  
Edita e imprime la Editorial de la Universidad  
Complutense de Madrid. Servicio de Reprografía  
Noviciado, 3 Madrid-8  
Madrid, 1983  
Xerox 9200 XB 480  
Depósito Legal: M-33955-1983



BIBLIOTECA

SECCION DE INVESTIGACION DE RECURSOS HIDRAULICOS  
INSTITUTO LUCAS MALLADA  
C. S. I. C.

HIDROGEOLOGIA REGIONAL  
DE LA CUENCA Terciaria  
DEL RIO ALBERCHE

Tomo I  
MEMORIA

Realizado por:  
ANTONIO SASTRE MERLIN  
Director:  
DR. M. R. LLAMAS MADURGA

1978



HIDROGEOLOGIA REGIONAL DE LA CUENCA  
TERCIARIA DEL RIO ALBERCHE

Tesis realizada por D. ANTONIO SASTRE MERLIN,  
bajo la dirección del Profesor Dr. M.R.LLAMAS  
MADURGA, para optar al grado de Doctor en Geo-  
logía Económica.

Madrid, Abril 1.978



"El Alberche nace en granito entre Navarredonda y Piedrahita, provincia de Avila, en la fuente Alberche, que se halla en medio de unas praderas; a lo menos tal es el origen que se le atribuye. La divisoria de aguas al Tormes apenas dista de aquel punto 50 metros. La temperatura del agua es en dicha fuente de 7°,5 en el mes de Julio. Un poco más abajo del Tiemblo llega a la provincia de Madrid, formando el límite de la misma con la de Avila en granito, hasta un poco antes de recibir el Cofio, y después la atraviesa hasta más abajo del Puente Nuevo, cerca de Aldea del Fresno, que entra en la de Toledo. Antes del puente de San Juan, próximo a Pelayos, penetra en el gneis por una cañada profunda y escabrosísima que se prolonga hasta las inmediaciones de la granja del Santo, que entra en las arenas, en las cuales se pierde en el Tajo poco antes de Talavera de la Reina".

"El río de Perales entra en el Alberche cerca de Aldea del Fresno, reuniendo los arroyos que bajan de Zarzalejo, Fresnedillas y el cerro de la Almenara. Corre en granito, y luego un corto trecho en gneis para entrar en las arenas".

(Casiano de Prado : "Descripción física y geológica de la provincia de Madrid", 1.864)



## SUMARIO

### TOMO I - MEMORIA

- PROLOGO

- AGRADECIMIENTOS

#### 1.- INTRODUCCION

1.1.- SITUACION GEOGRAFICA Y GEOLOGICA DE LA REGION  
ESTUDIADA. SUS LIMITES.

1.2.- OBJETIVOS DEL ESTUDIO.

1.3.- METODOLOGIA DE TRABAJO.

#### 2.- ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS

2.1.- INTRODUCCION.

2.2.- LAS PRIMERAS IDEAS Y SU EVOLUCION (1.830-1.936).

2.2.1.- De Ezquerria del Bayo a Royo y Gómez.

2.2.2.- De los pozos del Campo del Moro al sondeo de  
Alcalá de Henares.

2.3.- LAS IDEAS ACTUALES (1.940-1.977).

2.3.1.- Los conocimientos geológicos.

2.3.2.- De la cuenca artesiana de Madrid a los modelos  
tridimensionales de flujo del agua subterránea

#### PRIMERA PARTE : EL MEDIO HIDROGEOLOGICO

#### 3.- LOS MATERIALES. CARACTERISTICAS LITOESTRATIGRAFICAS

3.1.- INTRODUCCION.

3.2.- EL BASAMENTO.

3.2.1.- Las Sierras de Gredos y Guadarrama.

3.2.2.- Los Montes de Toledo.

3.3.- LA COBERTERA

3.3.1.- Los depósitos cretácicos.

3.3.2.- Los materiales terciarios antiguos.

3.3.3.- Los materiales terciarios modernos.



3.3.3.1.- Criterios seguidos para la diferenciación de unidades litoestratigráficas

3.3.3.1.1.- Análisis de las descripciones litológicas de los "detritus" de perforaciones.

3.3.3.1.2.- Interpretación de registros geofísicos.

3.3.3.1.3.- Tratamiento estadístico de los datos.

3.3.3.2.- Facies detrítica o marginal.

3.3.3.2.1.- Unidad Inferior.

3.3.3.2.2.- Unidad Cazalegas y Unidad Malpica.

3.3.3.2.3.- Unidades Tosco y Carpio.

3.3.3.2.4.- Unidad Navalcarnero.

3.3.3.3.- Facies de transición.

3.3.3.3.1.- Unidad Torrijos.

3.3.3.4.- Modelo del medio de sedimentación.

3.3.4.- Consideraciones sobre la edad de los materiales terciarios.

3.3.5.- Los materiales cuaternarios.

3.3.5.1.- Depósitos aluviales del Alberche.

3.3.5.2.- Depósitos aluviales del Tajo.

3.3.5.3.- Terrazas del Alberche y del Tajo.

4.- LOS MATERIALES. COMPORTAMIENTO HIDRAULICO

4.1.- DEFINICION DE LAS GRANDES UNIDADES HIDROGEOLOGICAS DE LA REGION ESTUDIADA. JUSTIFICACION Y RELACIONES ENTRE ELLAS.

4.2.- COMPORTAMIENTO HIDRAULICO DE LOS MATERIALES TERCARIOS MODERNOS.

4.2.1.- Introducción

4.2.2.- Influencia del medio sedimentario : análisis de la distribución espacial de caudales específicos

4.2.3.- Implicaciones hidráulicas del modelo de sedimentación : la interpretación de los ensayos de bombeo.

4.2.3.1.- Algunas precisiones.

- 4.2.3.2.- El efecto de pozo incompleto y el de anisotropía.
- 4.2.3.3.- El modelo de drenaje diferido
- 4.2.3.4.- Tipos de curvas descenso-tiempo
- 4.2.3.5.- Ensayos de recuperación
- 4.2.3.6.- Obtención de los coeficientes B y C.
- 4.2.4.- Geometría de las diversas unidades litoestratigráficas y parámetros hidráulicos
  - 4.2.4.1.- Unidad Navajcarnero (U.N.)
  - 4.2.4.2.- Unidad Tosco (U.T.)
  - 4.2.4.3.- Unidad El Carpio (U.C.)
  - 4.2.4.4.- Unidad Torrijos (U.Tr.)
  - 4.2.4.5.- Unidad Cazalegas (U.Cz.)
  - 4.2.4.6.- Unidad Malpica (U.Mp.)
  - 4.2.4.7.- Unidad Inferior (U.I.).
- 4.2.5.- Parámetros hidráulicos obtenidos por métodos de laboratorio
- 4.3.- CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DE LOS DEPOSITOS ALUVIALES ACTUALES.

## 5.- EL RELIEVE

- 5.1.- UNIDADES FISIOGRAFICAS FUNDAMENTALES.
- 5.2.- ALGUNOS ASPECTOS DEL RELIEVE EN RELACION CON LAS AGUAS SUBTERRANEAS.

## 6.- PARAMETROS CLIMATICOS Y ESCORRENTIA SUPERFICIAL

- 6.1.- PLUVIOMETRIA
- 6.2.- EVAPOTRANSPIRACION
  - 6.2.1.- Evapotranspiración potencial
  - 6.2.2.- Evapotranspiración real
- 6.3.- ESCORRENTIA SUPERFICIAL
  - 6.3.1.- Características hidrológicas de la cuenca del Alberche.
  - 6.3.2.- Características de la red de estaciones de aforo
  - 6.3.3.- Parámetros hidrológicos

SEGUNDA PARTE : REGIMEN DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

7.- MODELO DEL FLUJO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

7.1.- LOS MODELOS ANTIGUOS.

7.1.1.- Tras las "fuentes ascendentes"

7.1.2.- El modelo regional : la "cuenca artesiana de Madrid" de Casiano de Prado.

7.1.3.- Los canales de infiltración de Bentabol.

7.1.4.- Los "tubos de arena". Las "aguas pseudo-artesianas y freático-artesianas". de Fernández Navarro.

7.1.5.- Evolución de las ideas antiguas

7.2.- EL MODELO ACTUAL.

8.- DISTRIBUCION DE POTENCIAL HIDRAULICO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

8.1.- CONSIDERACIONES PREVIAS.

8.2.- PERFIL SEVILLA LA NUEVA - RIO PERALES (Plano 5.1).

8.3.- PERFIL EL ALAMO - ARROYO GRANDE - RIO PERALES (Plano 5.2).

8.4.- PERFIL SANTA CRUZ DEL RETAMAR - QUISMONDO - RIO ALBERCHE (Plano 5.3).

8.5.- PERFIL TORRIJOS - MAQUEDA - RIO ALBERCHE (Plano 5.4).

8.6.- PERFIL RIO TAJO - CARRICHES - RIO ALBERCHE (Plano 5.5).

8.7.- PERFIL RIO TAJO - LOS CERRALBOS - RIO ALBERCHE (Plano 5.6).

8.8.- PERFIL RIO TAJO - CAZALEGAS - SAN ROMAN (Plano 5.7).

8.9.- PERFIL INTERFLUVIO ALBERCHE - GUADARRAMA - RIO TAJO (Plano 5.8).

8.10.- PERFIL CARMENA - EL BRAVO - CONFLUENCIA TAJO-ALBERCHE (Plano 5.9).

8.11.- OSCILACION DEL NIVEL DE AGUA EN LA RED PIEZOMETRICA DE OBSERVACION.

- 8.11.1.- Evolución de niveles piezométricos en áreas de recarga de aguas subterráneas.
- 8.11.2.- Evolución de niveles piezométricos en un área de bombeo concentrado de aguas subterráneas
- 8.11.3.- Evolución de niveles piezométricos en el área de confluencia Alberche-Tajo.

## 9.- ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.

### 9.1.- INTRODUCCION

### 9.2.- CARACTERIZACIÓN DE TIPOS DE AGUA Y FENÓMENOS MODIFICADORES MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE DIAGRAMAS TRIANGULARES.

- 9.2.1.- El sector nor-oriental de la región de estudio (área Sevilla La Nueva - Villanueva de la Cañada-río Perales).
- 9.2.2.- El sector Navalcarnero - Aldea del Fresno - Villa del Prado - Valmojado.
- 9.2.3.- El sector Santa Cruz del Retamar - Escalona - Casar de Escalona - La Mata
- 9.2.4.- El sector sur-occidental de la región de estudio (área de confluencia Alberche-Tajo).

### 9.3.- ANALISIS DE LA EVOLUCION GEOQUÍMICA GLOBAL DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.

- 9.3.1.- Distribución espacial de la dureza total de las aguas subterráneas
- 9.3.2.- Distribución espacial de la conductividad eléctrica de las aguas subterráneas
- 9.3.3.- Distribución espacial de algunas relaciones iónicas . Diagramas bidimensionales de dispersión.
  - 9.3.3.1.- Índice catiónico  $r(\text{Na}^+ + \text{K}) / r(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$
  - 9.3.3.2.- Índice de desequilibrio (IDD)
  - 9.3.3.3.- Índice aniónico  $r(\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{=}) / r \text{CO}_3\text{H}^-$   
-----4-----3-----

10.- ANALISIS DEL CONTENIDO EN ISOTOPOS AMBIENTALES DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

10.1.- INTRODUCCION

10.2.- DISTRIBUCION ESPACIAL DEL CONTENIDO EN OXIGENO-18 DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS.

10.2.1.- Caracterización isotópica de áreas de recarga.

10.2.2.- Variación vertical del contenido isotópico de las aguas subterráneas en áreas de transición ("mid-line")

10.2.3.- Caracterización isotópica de áreas de descarga

10.2.4.- Caracterización isotópica de las aguas subterráneas entre el curso de los ríos Alberche y Perales y el macizo cristalino septentrional

10.2.5.- Caracterización isotópica de las aguas subterráneas salobres de la zona de confluencia Alberche-Tajo.

10.3.- RELACION DEL CONTENIDO EN OXIGENO-18 CON EL QUÍMICO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS.

11.- ALGUNOS ASPECTOS PRACTICOS DEL ESTUDIO

11.1.- UTILIZACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN LA CUENCA Terciaria del Alberche.

11.2.- INFLUENCIA DE LAS CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS EN LA EFICIENCIA DE LAS CAPTACIONES

RESUMEN Y CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA.

### PROLOGO

El trabajo que presentamos para optar al grado de Doctor en Geología Económica es el resultado de la labor realizada durante algo más de tres años en la Sección de Investigación de Recursos Hidráulicos del Instituto "Lucas Mallada" del C.S.I.C.

Se trata de un estudio hidrogeológico regional de la cuenca terciaria del río Alberche, que comprende parte de las provincias de Madrid y Toledo. Se describe y estudia el medio hidrogeológico para pasar a continuación a analizar el régimen de las aguas subterráneas propiamente dichas; en la última parte del estudio se abarcan algunos aspectos prácticos acerca de la explotación de aquéllas.

Supone nuestro trabajo el cierre de una etapa importante en la línea de investigación que ha seguido desde su creación la Sección de Investigación de Recursos Hidráulicos del Instituto "Lucas Mallada" del C.S.I.C., indefectiblemente unida a la de la Agregaduría de Hidrogeología del Departamento de Geomorfología y Geotectónica de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid.

El estudio ha sido financiado mediante una Beca concedida a través del C.S.I.C. por Resolución de la Dirección General de Universidades e Investigación del Ministerio de Educación y Ciencia de 23 de Enero de 1.975, con cargo al Plan de Formación de Personal Investigador. Su terminación ha sido posible gracias a una prórroga extraordinaria concedida por el C.S.I.C.



### AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar desde estas líneas nuestro más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que, de una u otra forma, nos han ayudado en la realización de nuestro trabajo. La siguiente lista no puede forzosamente ser exhaustiva por lo que pedimos disculpas a aquellos que habiendo contribuido con su esfuerzo no aparezcan en ella :

Prof. Dr. M.R. Llamas Madurga, Jefe de la Sección de Investigación de Recursos Hidráulicos y Director de la Tesis Doctoral.

Prof. Dr. E. Alastrué Castillo y Prof. Dr. M. Alía Medina, Directores consecutivos del Departamento de Geomorfología y Geotectónica.

Prof. Dr. M. Martel San Gil, Catedrático del Departamento de Geología de la Universidad de Alcalá de Henares.

Sres. A. Sahuquillo, B. López Camacho, F. Octavio de Toledo y E. Cabrera de la Sección de Estudios Hidrogeológicos del Servicio Geológico de Obras Públicas.

Doctores F. Villarroja, L. Rebollo, P.E. Martínez Alfaro y F. López Vera, compañeros de equipo. Asimismo a Isabel Corchón, secretaria de la Sección de Investigación de Recursos Hidráulicos.

Sres. A. González Ubanel y J. Pedraza, compañeros del Departamento de Geomorfología y Geotectónica de la U. Complutense de Madrid.

Dr. C. Martín Escorza, de la Sección de Geología Estructural del Instituto Lucas Mallada del C.S.I.C.



A los organismos y empresas :

Diputación Provincial de Madrid  
Diputación Provincial de Toledo  
IRYDA  
Junta de Energía Nuclear  
Jefatura o Sección de Minas de Madrid.  
Jefatura o Sección de Minas de Toledo  
KRONSA  
Cimentaciones Especiales, S.A. Procedimientos RODIO  
Servicio Geológico de Obras Públicas.  
SONDAX, S.A.  
Unión Eléctrica Madrileña  
Vegarada, S.A.

Dejamos expresamente para el final el agradeci  
miento de la ayuda prestada por J.M. Angulo Zapatero,  
maestro industrial en la especialidad de delineación; sin  
su profesionalidad y cualidades personales no hubiera si-  
do posible la realización de los numerosos planos y figu-  
ras de que consta nuestro trabajo. Asimismo, a mi hermana  
Carmen Sastre Merlín, que mecanografió íntegramente todo  
nuestro trabajo con increíbles muestras de paciencia a  
pesar de prolongadas jornadas de trabajo.

Por último, a mi mujer Carmen García Olvera  
que se ocupó del laborioso montaje de los volúmenes y  
que nos animó indefectiblemente en los momentos de desá-  
nimo.

CAPITULO 1  
INTRODUCCION



## 1.- INTRODUCCION

### 1.1.- SITUACION GEOGRAFICA Y GEOLOGICA DE LA REGION ESTUDIADA. SUS LIMITES.

La región por nosotros estudiada abarca administrativamente el sector suroccidental de la provincia de Madrid y el septentrional de la de Toledo. Está comprendida en las siguientes Hojas del Mapa Topográfico Nacional a escala 1/50.000 (Fig.1.1) :

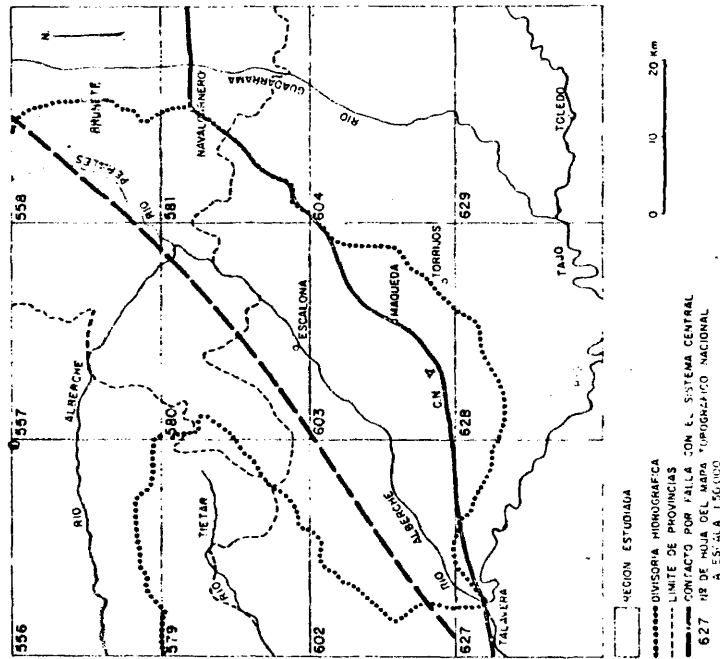
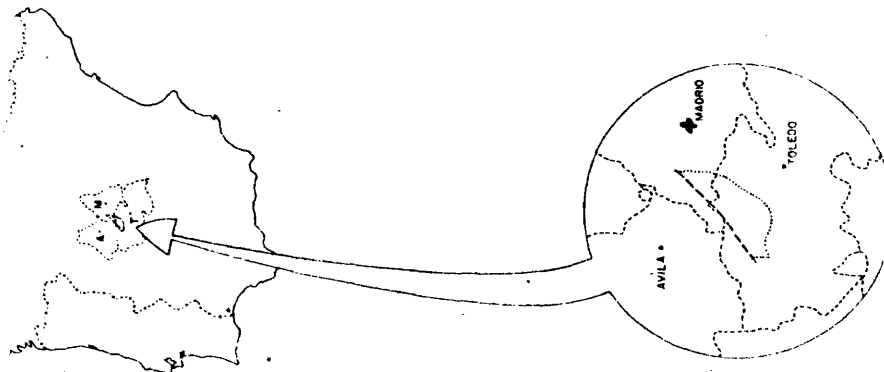
Hoja n°557 - San Martín de Valdeiglesias  
Hoja n°558 - Villaviciosa de Odón  
Hoja n°580 - Métrida  
Hoja n°581 - Navalcarnero  
Hoja n°602 - Navamorcuende  
Hoja n°603 - Fuensalida  
Hoja n°604 - Villaluenga  
Hoja n°627 - Talavera de La Reina  
Hoja n°628 - Torrijos

La superficie estudiada es superior a los 1.500 Km<sup>2</sup> y corresponde en su mayor parte a la llamada comarca del Retamar (Hernández Pacheco, E., 1.929). Geográficamente está ubicada en la submeseta meridional, en contacto con las primeras estribaciones del Macizo Central (Sierras de Guadarrama y Gredos).

Desde el punto de vista geológico está entroncada en el límite suroccidental de la llamada Depresión del Tajo, una de las principales pero frecuentes cuencas de sedimentación terciaria continental de la Península Ibérica, que aparecen limitadas por macizos antiguos.

X X X X X

SITUACION DE LA REGION DE ESTUDIO



El contacto de la depresión terciaria con el macizo cristalino septentrional, de nítida dirección NE-SW, constituye uno de los más claros límites de la región de estudio, dado que se piensa que no hay flujo de agua subterránea entre la unidad granítica y la terciaria.

La divisoria hidrográfica con la cuenca del vecino Guadarrama es otro de los límites de la región estudiada. Dicha divisoria adopta una acentuada dirección Norte-Sur desde los alrededores de Valdemorillo -en que deja el paisaje granítico para adentrarse en la llanura terciaria- hasta Navalcarnero; desde allí hasta Torrijos adopta la dirección NW-SW; un poco antes de esta ciudad las dos divisorias que hasta aquí han marchado juntas se separan por el efecto del próximo curso del Tajo.

Desde Torrijos la divisoria del Alberche sigue una dirección E-W primero, WNW-ESE después y NE-SW al final, buscando un poco antes de Talavera de La Reina el lugar donde las aguas del aquel encuentran a las del Tajo.

Como mostraremos en el capítulo 7, la adopción de la divisoria hidrográfica como límite de estudio está plenamente justificada ya que en el modelo del flujo de las aguas subterráneas que se adopta, dicha divisoria es un límite impermeable teórico.

## 1.2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El estudio de la cuenca terciaria del río Alberche se planteó con los siguientes objetivos :

- Reconocimiento y delimitación de las unidades hidrogeo

004

lógicas de la cuenca, basándonos en criterios geológicos.

- Análisis del comportamiento hidráulico de cada una de las unidades consideradas, estableciendo sus parámetros hidráulicos propiamente dichos en aquéllas que fuera posible.
- Poner de manifiesto la influencia de la topografía del terreno sobre la línea de saturación, y con ello, en última instancia, sobre el movimiento del agua subterránea.
- Breve cálculo de la precipitación media, temperatura y evapotranspiración, es decir, de las principales características climáticas, como un factor más del medio hidrogeológico.
- Asumir un modelo del flujo de las aguas subterráneas cuya validez quedará demostrada a lo largo del estudio.
- Proponer una distribución de potencial hidráulico de las aguas subterráneas que, empíricamente construída a partir de los niveles de agua medidos en el campo y sobre la base del modelo de flujo adoptado, explica los fenómenos observados ya en el campo ya en el gabinete.
- Analizar los datos proporcionados por los análisis físico-químicos de las aguas subterráneas, estableciendo un modelo de evolución hidrogeoquímica relacionado íntimamente con la distribución de potencial hidráulico.
- Determinar el contenido en isótopos ambientales estables (oxígeno 18 y deuterio) de las aguas subterráneas de la cuenca del río Alberche. Como se verá en su momento, los resultados de estas determinaciones son perfectamente concordantes por un lado con la distribución de potencial hidráulico propuesta y por otro con el modelo de evolución hidrogeoquímicos de las aguas.
- Abordar algunos aspectos prácticos de la explotación

de las aguas subterráneas, tales como evaluar la demanda de agua en la región de estudio, analizar las características tecnológicas de las explotaciones, etc.

X X X X X

El interés que puede tener el estudio que hemos realizado puede desdoblarse en dos factores :

a) Interés local.

Ya en la Memoria Anteproyecto de Tesis Doctoral opinamos que el crecimiento del Area Metropolitana de Madrid hacia el Oeste, en particular en los últimos años, y la necesidad de abastecimiento de agua potable que dicha expansión lleva consigo originaría un brusco aumento de la demanda de agua, como ya está ocurriendo. El trabajo que hemos realizado podrá contribuir a solucionar dichas necesidades de abastecimiento de la forma más económica y racional, siempre que nuestra voz sea escuchada por los organismos competentes.

Al menos para un sector de la región de estudio -el sector Navalcarnero-Aldea del Fresno- hay que destacar la importancia que tendrá la realización del proyecto del Ferrocarril del Valle del Tiétar -el primer tramo Madrid-Móstoles ha entrado en funcionamiento hace unos meses- en cuanto al desarrollo de los núcleos urbanos por los que está proyectado su trazado.

Con anterioridad a este trabajo pusimos de manifiesto por vez primera la existencia de aguas salobres en la región de Talavera de La Reina (Sastre, A., 1.975). Este hecho, amén de ser importante desde el punto de vista científico, puesto que corrobora el modelo



006

de flujo de las aguas subterráneas de la Cuenca de Madrid, obliga a un replanteamiento del futuro abastecimiento de agua potable de la región aludida, hoy ya crítico, dada su vertiginosa expansión urbanística, industrial, ganadera y agrícola de los últimos años.

Por último, a todo esto hay que unir la cada vez más inminente puesta en servicio del acueducto Tajo-Segura, un factor más de inquietud en la opinión pública de la región.

b) Interés general.

Buena parte de la superficie de la Península Ibérica está ocupada por materiales terciarios depositados en cuencas de sedimentación continental en todo semejantes a la depresión del Tajo; importantes núcleos urbanos están asentados a su vez sobre ellos. Hay que esperar por tanto que el funcionamiento de las aguas subterráneas que saturan dichos materiales sea en todas estas depresiones muy semejante; por lo que la metodología puesta a punto en el estudio de la Cuenca de Madrid sería válida para acometer la hidrogeología regional de todas estas regiones.

1.3.- METODOLOGIA DE TRABAJO

De acuerdo con Wallick, E.I. y Toth, J. (1.975), nuestro estudio puede considerarse como el análisis de una estructura hidrológica; dicho concepto puede definirse, de acuerdo con los mencionados autores como la manifestación de la interacción entre las propiedades físicas y químicas del agua subterránea (régimen del agua subterránea) y aquellos elementos de la geología, topografía y clima que afectan directa o indirectamente el régimen del

agua subterránea (ambiente hidrogeológico); aquél puede expresarse como una combinación de los procesos de distribución, química, composición isotópica y movimiento del agua subterránea (Wallick, E.I. y Toth, J., 1.975) :

$$R = W_{(p)} + f(\text{grad. } \phi) + q_1 + C_w + I_w + \theta + \sum_{n=1}^6 \frac{P_n}{t}$$

donde  $W_{(p)}$  es el contenido específico medio de agua del medio poroso,  $f(\text{grad. } \phi)$  la distribución de potencial hidráulico del fluido,  $q_1$  el volumen de descarga específico del sistema de flujo 1,  $C_w$ ,  $I_w$  y  $\theta$  la composición química, contenido isotópico y régimen termal de las aguas subterráneas y por último  $\sum_{n=1}^6 \frac{P_n}{t}$  la variación en el tiempo de todos los parámetros precedentes ( $P_1$ . . .  $P_6$ ).

El ambiente hidrogeológico controla cada parámetro del régimen del agua subterránea por tensiones físico-químicas resultantes de los efectos de la constitución geológica del medio (distribución de porosidad y permeabilidad, composición química, mineralógica y petrológica, etc.), topografía (relieve de la línea de saturación, límites de la cuenca) y características climáticas de la región considerada (precipitación, temperatura y evapotranspiración).

El movimiento del agua es función de la distribución de potencial hidráulico del fluido  $-f(\text{grad } \phi)$  - que aunque es solo uno de los parámetros del régimen, está fuertemente influenciado por los tres factores del ambiente hidrogeológico, y sucesivamente afecta a los

008

restantes parámetros de aquél excepto a  $w_{(p)}$  y  $\sum_{n=1}^6 \frac{p_n}{t}$ .

X X X X X

Bajo la anterior perspectiva hemos empleado la metodología siguiente :

- En primer lugar realizamos una labor de recopilación de todos los trabajos preexistentes de índole geológica o hidrogeológica acerca de la Cuenca de Madrid. Creemos que la recopilación ha sido suficientemente amplia, llegando a afectar a trabajos anteriores a 1.830.
- Desde el principio del estudio comenzamos con la tarea de elaborar un inventario de puntos de agua de la región a estudiar (Anexo I). Se han inventariado 397 pozos excavados, 289 pozos perforados por procedimientos mecánicos, 127 sondeos, 55 manantiales, 2 galerías de captación y 1 pozo de drenes radiales.
- La realización del inventario de puntos de agua nos permitió recopilar 174 descripciones litológicas de los detritus obtenidos en la realización de pozos y sondeos (Anexo II), así como una docena de registros geofísicos de potencial espontáneo, resistividad y radiación gamma-natural (γ) (Anexo III). A partir de estas descripciones litológicas y registros, de las observaciones realizadas por nosotros -ya en el campo, ya a través de la foto aérea- y de los trabajos de otros autores, se han podido definir y caracterizar un conjunto de unidades litoestratigráficas, así como establecer el medio de sedimentación de los materiales terciarios, semejante al propuesto por otros autores para regiones próximas de la Cuenca de Madrid.

- También a partir del inventario de pozos, sondeos y manantiales se han obtenido 172 valores del caudal específico así como 19 ensayos de bombeo y 8 ensayos de recuperación (Anexo IV). Con los primeros se pretendía analizar la influencia del medio de sedimentación sobre la distribución espacial de los parámetros hidráulicos de los materiales terciarios; con los segundos obtener esos parámetros propiamente dichos y estudiar el comportamiento hidráulico de aquellos ante los bombeos.

- El análisis de las características climáticas se abordó utilizando los datos que periódicamente publican los organismos correspondientes.

- El estudio del último de los factores del medio hidrogeológico, el relieve, se realizó con base en la cartografía topográfica existente.

- Con los datos del nivel del agua medido en los pozos -recogidos en el Inventario de puntos de agua- se ha podido establecer la distribución de potencial hidráulico de las aguas subterráneas, orientado a estudiar empíricamente su movimiento. También fue establecida una red piezométrica de 12 puntos de agua para obtener, con periodicidad mensual, la evolución del nivel de agua durante un período de observación lo más largo posible (24 meses en algunos puntos).

- Asimismo se tomaron muestras de agua para realizar su análisis físico-químico en 93 puntos (Anexo V); con estos datos se ha elaborado un modelo de evolución hidrogeoquímica que es concordante con la distribución de potencial obtenida.

010

- Se han realizado 28 determinaciones del contenido en oxígeno - 18 de las aguas subterráneas, encaminadas a investigar por estos métodos el movimiento del agua.
- Por último se han analizado diversos aspectos prácticos de la explotación de las aguas subterráneas en la región estudiada.

011

CAPITULO 2

ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS

## 2.- ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS

### 2.1.- INTRODUCCION.

La finalidad de este apartado ha sido el recoger y analizar toda la información geológica e hidrogeológica disponible relacionada de forma directa con nuestra región y tema de trabajo, pero tomando estos dos últimos conceptos en sentido amplio, esto es, considerando de interés aquellos trabajos que conciernen bien a la Depresión del Tajo en general, por cuanto incidan sobre la sub-cuenca del Alberche, bien a la metodología de trabajo anteriormente expuesta, por su posible repercusión en los resultados a que dicha metodología nos iba a llevar.

El resultado de esta recopilación son los casi 300 trabajos mencionados en el texto y que se detallan al final de esta memoria. Esta lista bibliográfica tendrá omisiones, involuntarias de todo punto, por las que pedimos de antemano disculpas a los autores afectados. Sin ser exhaustiva, creemos que la bibliografía manejada ha sido suficiente para analizar la evolución del conocimiento geológico e hidrogeológico, desde el primer tercio del siglo pasado hasta nuestros días, sobre nuestra región y tema de estudio.

Como era lógico esperar, los primeros autores abarcan en sus trabajos zonas amplias, a nivel de la Meseta Ibérica (Ezquerria del Bayo, 1.845; Calderón, 1.885; etc.), todas las cuencas terciarias (Calderón, 1.884 y 1.895), la totalidad o parte de la Península Ibérica (Ezquerria del Bayo, 1.850-56, Luján, 1.850, Mapherson, 1.879, 1.880, 1.901, etc.) e incluso la región de la corteza terrestre próxima a la Península (Mapherson, 1.888). No faltan desde luego trabajos sobre observaciones loca-

les (Quiroga, 1.889; Cortázar, 1.877) o regiones concretas, entre las que cabe incluir el memorable trabajo de Prado sobre la provincia de Madrid (1.864). No obstante, de una forma un tanto brusca, a partir de los primeros años del actual siglo, los trabajos se van centrando en observaciones de detalle, aunque siguen publicándose trabajos de síntesis, incluso hasta nuestros días.

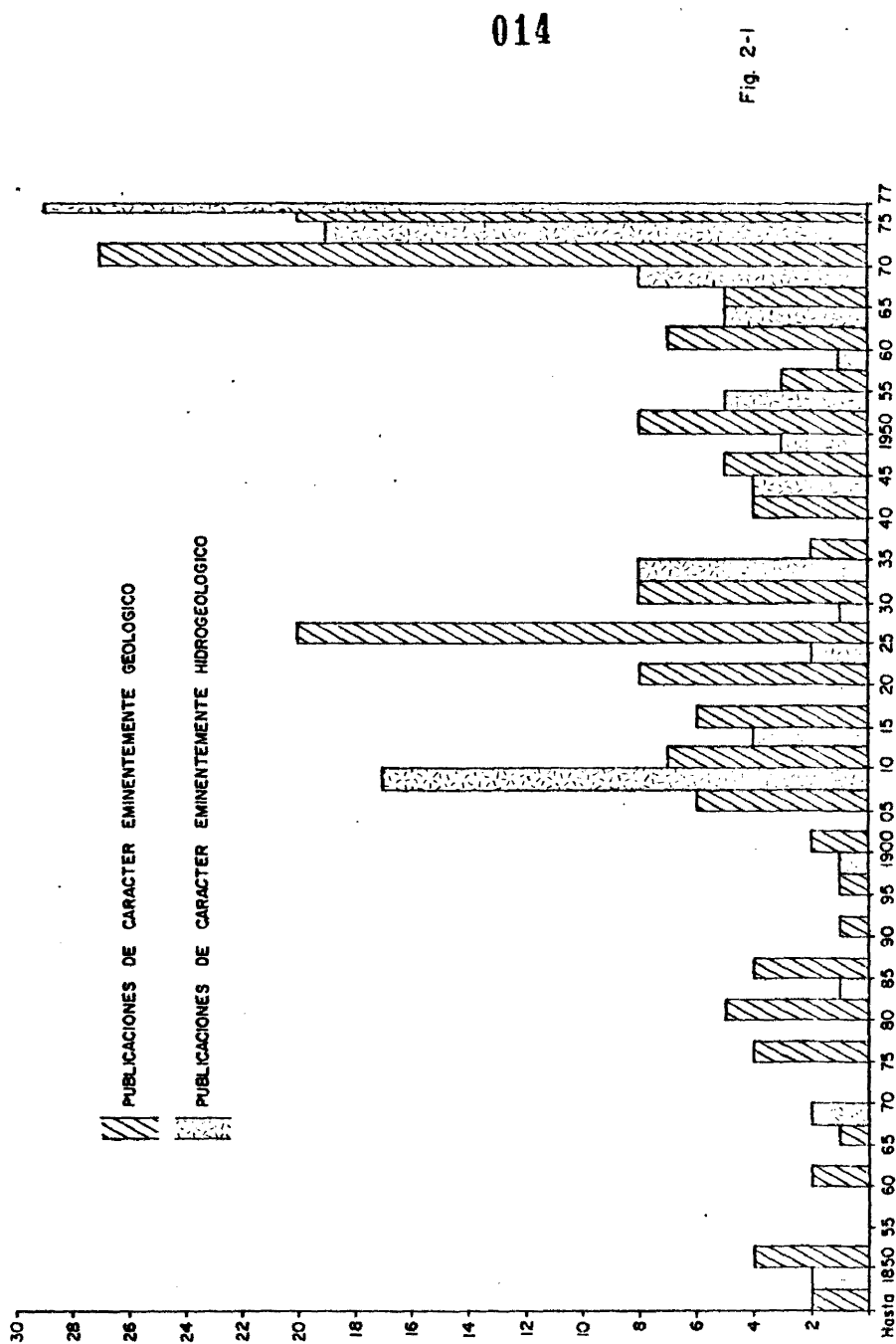
En la Fig.2.1. pretendemos visualizar la distribución en el tiempo de los trabajos mencionados en la bibliografía, agrupándolos por períodos de cinco años.

No podemos dejar de mencionar la preocupación que nos produce el prolongado cierre de la biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España -durante todo el período de tiempo que ha durado este trabajo-, quizá la más completa del país en temas geológicos, lo que ha hecho imposible la consulta de algunas de las referencias bibliográficas de que disponíamos. Parece, sin embargo, que hay disposición para una apertura próxima.

## 2.2.- LAS PRIMERAS IDEAS Y SU EVOLUCION (1.830-1.936).

Como se sabe, la Ciencia Geológica aparece con solida da desde finales del siglo XVIII. La segunda mitad de éste es particularmente fecunda; durante este período, la proliferación de gabinetes de Historia Natural, generalmente a expensas de iniciativas privadas, -sólo en París llegan a ser sesenta y uno en 1.780 (Cailleux, 1.961)-, despierta el interés de los ministros y monarcas "ilustrados" de toda Europa, trayendo como consecuencia inmediata la fundación del "British Museum". En 1.793 se crea la primera cátedra de geología, en el Museo de París hecho lógico dado que el movimiento científico en este





DISTRIBUCION POR QUINQUENIOS DE LOS ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS SOBRE LA ZONA DE ESTUDIO

siglo ha surgido de las "Academias", al margen de las Universidades, en marcada decadencia.

En España, coincidiendo con la etapa de paz y prosperidad que representa el reinado de Fernando VI (1.746-1.759) y con el triunfo de la Ilustración en toda Europa, se inician las primeras gestiones para fundar en Madrid un Museo de Ciencias Naturales (Barreiro, J., 1.929), ante el naturalista Carlos Linneo, precisamente bajo los auspicios del citado monarca. Sin embargo, la idea no se hizo realidad hasta el día 4 de Noviembre de 1.776, onomástica de Carlos III, en que abre sus puertas al público el "Real Gabinete de Historia Natural", inicialmente emplazado en el edificio que hoy ocupa la Academia de Bellas Artes, en la calle de Alcalá.

Coincidentes con el espíritu de la época son los primeros trabajos por nosotros conocidos; el más antiguo data de 1.776 (Lugardo, B. y Belluga, B., 1.776). La casi totalidad de éstos versan sobre aspectos minero-lógicos de los terrenos de las proximidades de la Corte (Martínez Collado, J., 1.975).

Desde principios del siglo XIX se subraya cada vez más la importancia de las ciencias y del estudio de la naturaleza. Humboldt muestra la interdependencia de los fenómenos naturales; la doctrina filosófica positivista de Augusto Comte tiene gran influencia en el mundo latino en general y en el desarrollo de las ciencias en particular.

Desgraciadamente, en España, la guerra de la Independencia y, sobre todo, la restauración del absolutismo en la persona de Fernando VII, truncan el resurgir

miento cultural y científico de la Ilustración, desapareciendo poco a poco los científicos que integraron aquel movimiento sin encontrar sucesores. Prueba de lo que decimos es que no conocemos la existencia de trabajo alguno de autor español durante el período 1.808-28; el único citado en la bibliografía (Martínez Collado, J., 1.975) se debe al francés Brogniart y fue publicado en el extranjero.

Sólo al final del reinado de aquel monarca empieza a gestarse la reconstrucción cultural y científica del país, en especial a partir de la amnistía de 1.828, acogiéndose a la cual pueden regresar la mayoría de los intelectuales emigrados. No obstante, la inestabilidad política que imperará en los restantes dos tercios del siglo será la causa de que esa reconstrucción no alcance el ritmo y nivel deseado.

#### 2.2.1.- De Ezquerria del Bayo a Royo y Gómez

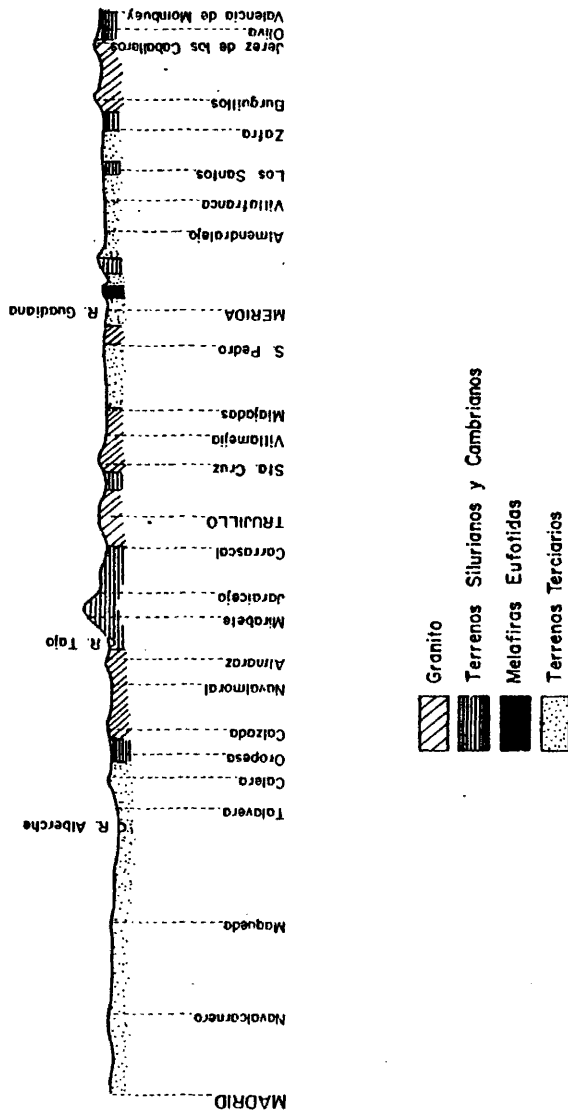
Parece haber unánime consenso entre todos los autores que han tratado de recopilar la bibliografía geológica existente acerca de la depresión terciaria del Tajo, especialmente entre los que han realizado ensayos específicamente bibliográficos o de síntesis (Royo y Gómez, J., 1.928-A; Martínez Collado, J., 1.975; López Vera, F., 1.977; etc.), en señalar al Ingeniero de Minas D. Joaquín Ezquerria del Bayo y Guirior, como el primer geólogo que se ocupa de las formaciones terciarias de la Península. Con una clara influencia del inglés Lyell, este autor comienza a trabajar en la cuenca del Duero pasando después a las del Tajo y Ebro, elaborando su célebre memoria hacia finales de la tercera década del siglo, que se publica en 1.845. En ella "se esboza la teoría de los

grandes lagos, se determina la edad de sus depósitos como formación yesosa terciaria de agua dulce y se la divide en tres grupos que de abajo a arriba los denomina de arcillas, margoso-yesoso y calizo" (Royo y Gómez, J., 1.928-A).

Merece sin duda resaltarse a continuación el trabajo de Francisco de Luján (1.850), presidente de la recién creada (en 1.849) "Comisión encargada de formar el mapa geológico de España", del que la Fig.2.2. reproduce uno de los cortes geológicos que presenta acompañando a un meritorio mapa geológico, precisamente el que discurre por nuestra región de estudio. Luján distingue con claridad los materiales terciarios de los cuaternarios, que circunscribe a las "corrientes de los ríos"; sin embargo esta idea deberá ser exhumada por Royo y Gómez casi ochenta años más tarde.

Coincidiendo con el trabajo de Luján, Ezquerria inicia una descripción general de los terrenos de España, tan del gusto de la época (Ezquerria, J., 1.850-56). Siguiendo la clasificación de Lyell, comienza describiendo las rocas plutónicas y cristalinas continuando con las volcánicas y materiales paleozoicos; aunque no se hace mención posterior en el resto de la bibliografía consultada, el trabajo debió de quedar inconcluso faltando la descripción de los grupos "secundario" y "terciario" de las "rocas acuosas".

1.848 es el año en que Casiano de Prado inicia su reconocimiento geológico de la provincia de Madrid, animado por el entonces Director General de Agricultura D. Cristóbal Bordiú Góngora. En 1.852 finaliza un primer bosquejo geológico (Prado, C., 1.852); pero hasta 1.864



CORTE GEOLOGICO DE MADRID A VALENCIA DE MOMBUEY POR MIRABETE

(SEGUN LUJAN F., 1850)

Fig. 2-2

no ve la luz su magna obra (Prado, C., 1.864) de la que Royo y Gómez (1.928-A) dice que "no puede dejar de ser consultada por todo aquél que desee hacer investigaciones serias sobre la cuenca del Tajo", y en la que hay que señalar ante todo el absoluto rigor científico con que está escrita.

Los autores franceses que por esa época trabajan en España ejercen una clara influencia sobre los geólogos autóctonos, Prado incluido. Se pueden señalar por ejemplo los trabajos de Verneuil y Collomb (1.852), Verneuil y Lartet (1.863) y Verneuil (1.866).

Las fundaciones, en 1.871, de la Sociedad Española de Historia Natural (después Real Sociedad) y en 1.875 de la Institución Libre de Enseñanza, así como la reorganización en 1.873 de la Comisión del Mapa Geológico, integrada por ingenieros de minas, y ahora bajo la presidencia de D. Manuel Fernández De Castro, juegan un papel importante en el desarrollo de la geología española. Se intensifican los reconocimientos geológicos de las provincias, siguiendo el modelo del trabajo de Prado (1.864) en la de Madrid; la de Toledo es objeto de los trabajos de Peña (1.876) y Cortázar (1.878); el origen de los materiales terciarios de España se discute en Calderón (1.884, a, b y c) y Botella (1.884-85); las observaciones realizadas por Quiroga, F. en diversas excursiones por los alrededores de Madrid se plasman en varias notas (1.887, 1.889 y 1.890); Calderón publica en 1.885 el primer ensayo orogénico sobre la Meseta Central, afirmando que "la alternancia de un núcleo rígido e inmóvil pero quebradizo, con partes que le han ido rodeando plásticas y flexibles, constituyen la clave del mecanismo entero de esta interesante historia".

020

El origen de las formaciones evaporíticas, siempre presentes en los materiales terciarios de la península, es la finalidad de los trabajos de Vilanova, J. (1.875) y Calderón (1.895), destacables sobre todo por plantearse específicamente ese problema.

Por sus hipótesis acerca de la gestación de la Meseta Central en particular y sobre todo, por sus teorías sobre la evolución del fragmento de corteza terrestre "que iba a ser la Península Ibérica" no podemos dejar de citar al gran geólogo D. José Mapherson, en especial por sus trabajos de 1.879, 1.880, 1.888 y 1.901, al último de los cuales pertenece la cita anterior.

Durante la primera decena del recién comenzado siglo se pueden señalar dos trabajos de Fernández Navarro, L. (1.904 y 1.909), en el segundo de los cuales se ocupa de las un tanto extrañas arenas y calizas con sílex que afloran al N. de Quijorna, en nuestra zona de estudio, ya citadas por Prado. Los trabajos de Mallada (1.907 y 1.911) son escueta síntesis de los ya citados trabajos de Ezquerro, Prado y Fernández Navarro. De esta época son las famosas notas de Douvillé (1.908 a y b) y Deperet (1.908) que señalan la existencia de materiales terciarios marinos en el cerro de La Rosa, en las proximidades de Toledo.

Dentro de la serie de estudios para la rectificación del Mapa Geológico de España, Mallada y Dupuy de Lome (1.912) publican su reseña de la provincia de Toledo, en la que, al igual que en Gómez de Larena, J. (1.913), se vierten gran número de datos y observaciones de campo.

De 1.915 a 1.936 paralelamente a la espléndida floración intelectual que se produce en el país durante el primer tercio del siglo, período al que algunos historiadores -como Jover- denominan Edad de Plata, se produce un muy notable incremento del nivel de conocimiento de la geología nacional, reflejado lógicamente en la gran cantidad de publicaciones que se producen sobre nuestra región de estudio. Dos autores hay que señalar ante todo : Eduardo Hernández Pacheco, "discípulo predilecto" de Mapherson (Royo y Gómez, 1.930-B) y José Royo y Gómez, alumno a su vez del primero, grandes conocedores ambos de las formaciones terciarias, especialmente éste último; son éstos, realmente, quienes sientan las bases de las ideas actuales. Sin embargo, para gran desgracia de todos los geólogos españoles, la trayectoria científica de Royo y Gómez en nuestro país se interrumpe brusca e irreversiblemente por su obligado exilio a Sudamérica, ante la evolución de la Guerra Civil.

Es Hernández Pacheco, E. quién comienza a renovar las ideas acerca de las cuencas terciarias del centro de la Meseta. Ya en 1.912 sugiere el carácter de horst de los macizos Central y Montes de Toledo y de depresión tectónica a la planicie terciaria, hipótesis que será refrendada en 1.927 por el célebre sondeo de Alcalá de Henares; sus investigaciones a raíz de los hallazgos paleontológicos de Palencia y Puebla de Almoradiel (Toledo) (Hernández Pacheco, 1.914 a, b y c, 1.915 y 1.917) echan por tierra las hipótesis de los inmensos lagos y le proporcionan argumentos para la datación como miocenas de estas formaciones, no admitiendo ni la presencia de Paleógeno -más que para algunos puntos de los bordes- ni el considerar también como miocenas las formaciones detríticas dadas por él como pliocenas, del N. y W. de Madrid



## 022

("diluvial" de los autores antiguos) sugerencias ambas que muy pronto iba a hacer Royo y Gómez.

Royo y Gómez inicia en 1.916 sus trabajos sobre los materiales terciarios de la Meseta; en sus primeras publicaciones (1.917, 1.918 y 1.920) se ocupa preferentemente del límite oriental de la depresión del Tajo, apareciendo en 1.922 su primer trabajo de síntesis; ya en estos aparecen esbozados algunas de las ideas que serán constantes en todos sus trabajos tales como existencia de movimientos tectónicos postmiocenos y de terrenos terciarios pre-miocenos. En 1.926-A y B empieza a atribuir al Oligoceno tanto los terrenos detríticos rojos del N. de Toledo como parte de los evaporíticos del S. de Madrid, arguyendo fundamentalmente criterios estratigráficos y geomorfológicos; la memoria que presenta al XIV Congreso Geológico Internacional que ese año se celebra en Madrid (1.926-C) es un nuevo trabajo de síntesis.

Otros trabajos que debemos mencionar son los aportados por Obermaier, H. y Carandell, J. (1.916); Obermaier, H., Wernert, P. y Pérez Barradas, J. (1.921); Dantín Cereceda (1.921); Pérez de Barradas, J. (1.923) y Hernández Pacheco, E. (1.923); éste último autor y Aranegui, P. estudian entre 1.927 y 1.928 las terrazas cuaternarias de los ríos españoles.

La elaboración de la primera hoja del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000, la n°560 (Alcalá de Henares) es encomendada por el I.G.M.E. a Royo y Gómez y Menéndez Puget (1.928). La elección de esta hoja como la primera se basó en el emplazamiento dado a la primera investigación hidrogeológica seria en la cuenca terciaria de Madrid. En un nuevo trabajo previo de síntesis que

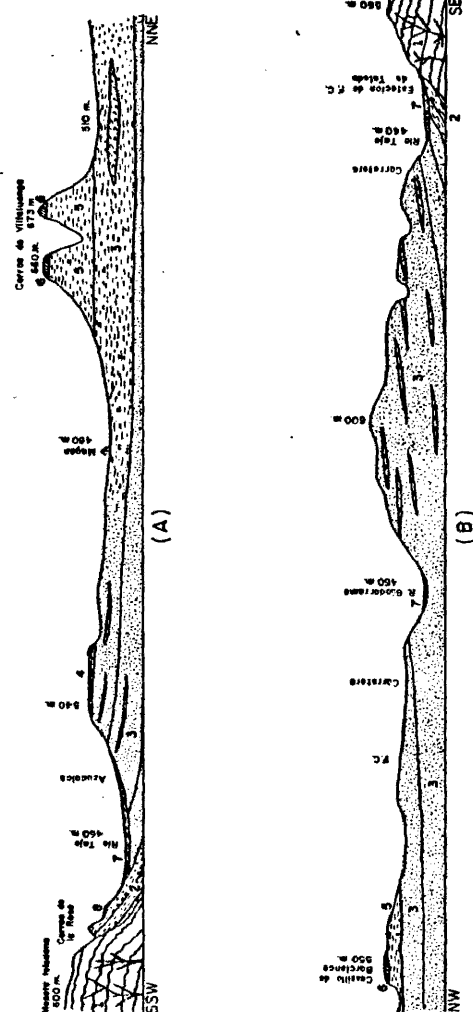
le es encargado por la dirección del Instituto (Royo y Gómez, 1.928-a) refrendándolo en 1.928-b, afirma la pertenencia al Mioceno en facies detrítica, y aún al Paleógeno, de los materiales "diluviales" del borde meridional del Sistema Central, constriñendo los cuaternarios, en general, a las terrazas fluviales, tal y como pensaba Luján, F. en 1.850. Así explica los enigmáticos aluviones de Torrelodones (Royo y Gómez, 1.928-c) que tantas dudas habían despertado en Carandell (1.928-A) que en este mismo año publica un interesante artículo sobre la morfología de la Sierra de Guadarrama (Carandell, 1.928-B). Las sugerencias de Royo se ven reforzadas por las dudas de Gómez de Llarena, J. (1.928) acerca de los materiales rojos de Toledo ya mencionados.

En 1.929 se finalizan dos nuevas hojas geológicas, la de Algete y la de Madrid, encomendadas ambas a los mismos autores de la primera (Royo y Gómez y Menéndez Puget, 1.929 a y b); habiendo podido acceder con este motivo a los terrenos del Monte del Pardo, Royo los clasifica como Mioceno detrítico (Royo y Gómez, 1.929 a y b). Un nuevo trabajo (1.929-c), en el que vuelve a considerar los materiales rojos de Toledo y del que reproducimos en la Fig.2.3. los dos cortes que presenta por su interés y proximidad a nuestro estudio, suscita una notable polémica con Hernández Pacheco, E. sobre el origen del "torno" del Tajo alrededor de esa ciudad (Hernández Pacheco, E. 1.930 a y b, Royo y Gómez, J., 1.930 b y c); este autor ya había mostrado previamente su desacuerdo con las ideas de aquel (Hernández Pacheco, E., 1.929).

Es preciso señalar que es Royo el primer geólogo que intuye (Royo y Gómez, J., 1.930a) y comprueba después (Royo y Gómez, J., 1.934) el contacto mediante falla in

# CORTE GEOLOGICO DESDE LA MESETA GNEISICA TOLEDANA HASTA LOS CERROS DE VILLALUENGA (A)

## Y BARCIENCE (B) (Royo y Gomez J. 1.929 c)



- 1—GNEIS Y ROCAS ERUPTIVAS
- 2—ESTRATOS PALEOGENOS CON LA INTERCALACION DE MOLASA CON FOSILES MARINOS
- 3—ARENISCAS Y ARCILLAS ROJIZAS Y PARDO-VERDOSAS CON LENTEJONES DE CANTOS, CONSIDERADAS ANTES COMO CUAT.
- 4—CALIZA TOBACEA DE HIGARES
- 5—ARCILLAS, MARGAS Y ARENISCAS VERDOSAS Y PARDAS CON RESTOS DE TESTUDO BOLIVARI DEL TORTONIENSE-SARMATIENSE
- 6—SILEX CON SERPILITA Y CALIZA. EN VILLALUENGA HAN DADO RESTOS DE MASTODON; EL ESTRATO DE BARCIENCE CORRESPONDE A UN NIVEL INFERIOR
- 7—ALUVIONES RECIENTES
- 8—TERRAZA CUATERNARIA

Fig. 2-3

versa de las formaciones terciarias detríticas con el macizo del Sistema Central.

La utilidad de la prospección gravimétrica y sísmica empieza a vislumbrarse a raíz de la realización, en 1.927, del sondeo de Alcalá de Henares, "tomando como punto de vista principal el que sirvieran de base para señalar el emplazamiento de sondeos destinados a alumar aguas artesianas profundas" (Kindelan, V. y García Siñeriz, J., 1.928), ante el no esperado espesor de más de 1.000 mts. de materiales terciarios. Los resultados de las campañas que siguieron a la realización de aquel sondeo se recogen en la conocida memoria de García Siñeriz (1.933).

Hacemos concluir esta primera época con la aparición de la primera hoja geológica E.1:50.000 que alcanza específicamente a nuestra zona de Tesis, la n°581, Navalcarnero (H. Sampelayo, P. y H. Sampelayo, A., 1.934); así como con la publicación de los excelentes trabajos geomorfológicos de Schwenzner (1.936) y Birot (1.937).

#### 2.2.2.- De los pozos del Campo del Moro al sondeo de Alcalá de Henares.

Parece ser que es a partir de 1.820 (García del Castillo, J. y Rubio, C., 1.906) cuando comienzan a producirse los primeros intentos para explotar las aguas subterráneas de la cuenca de Madrid mediante pozos profundos perforados por procedimientos mecánicos; para Pardo, C. (1.864) es en el año 1.827 cuando tiene lugar la primera "tentativa de sondeo". En el año 1.829 se realizan los primeros pozos cuya situación se conoce : los del Campo del Moro; como lo que se pretendía era obtener

"aguas artesianas" estos pozos fueron negativos (Sánchez Lozano, R. y Alvarez Aravaca, M., 1.906).

La aptitud del terreno de Madrid para la "formación de fuentes ascendentes" es analizada en 1.830 por Cristóbal Bordiú Góngora, llegando a conclusiones pesimistas. En esta nota se vierte una excelente descripción geológica de los terrenos donde se ubica la capital y sus alrededores, llegando incluso a aventurar, con gran acierto, la columna litológica de un hipotético pozo que se perforase en las zonas más altas de la ciudad (Puerta de Santa Bárbara o de Recoletos); denota asimismo una gran claridad en los conceptos hidrogeológicos. Llama realmente la atención este ilustre personaje, impulsor grande del desarrollo del conocimiento geológico del país -buena prueba de ello es el trabajo ya mencionado de Prado, C. (1.864)- que llegó a ser Director General de Agricultura y de Obras Públicas y Ministro de Gobernación y a quién según Prado, C. (1.864) "se debe la primera idea (en 1.829) de la conducción de las aguas del Lozoya a esta corte". Fue asimismo traductor de la conocida obra de Garnier (1.821) que en castellano se llamó "Tratado de las fuentes ascendentes o de las varias especies de terrenos en que puede buscarse aguas subterráneas" aparecida en 1.829 y de la que Solé Sabarís dice (Davis y De Wiess, pról. ed. española, 1.971) que fue el primer impacto hidrogeológico entre los geólogos españoles.

Por estas fechas se inician las primeras investigaciones hidrogeológicas en las arenas verdes albares de la cuenca de París, que tendrán gran trascendencia para nuestra región de estudio. En 1.830 Degousée realiza en Tours un pozo que atraviesa la creta y llega a las citadas arenas verdes a la profundidad de 140 m. (Diffre,

1.967). La administración de la Villa de París, aconseja da por Arago y Hericart de Thurry, tratando por todos los medios de solucionar el problema del abastecimiento de agua potable, ordena comenzar en 1.833 el célebre pozo de Grenelle que finalizado en 1.841 alcanza la profundidad de 548 m., obteniendo aguas surgentes. En vista del éxito, Kind perfora en Passy (1.855-1.866) un nuevo pozo que alcanza la profundidad de 586 m., proporcionando un caudal de 25.000 m<sup>3</sup> de agua al día (Pérez Cossío, L., 1.913).

En 1.835, animado por los resultados positivos que comenzaban a obtenerse en la perforación del citado pozo de Grenelle, el Secretario de Estado y Gobernación elevó a la Reina Gobernadora un escrito en el que se proponía la creación de dos brigadas de ingenieros de Minas que debían de estudiar la posibilidad de obtener aguas "artesianas" en ambas Castillas. Aunque este proyecto fué aprobado por Real Decreto y las citadas brigadas iniciaron su trabajo, la primera guerra carlista truncó estas buenas disposiciones, perdiéndose el trabajo realizado (Cortázar, D., 1.906).

Hacia 1.837 se perforan dos nuevos pozos en Madrid, en el camino de Fuencarral, pero como no obtuvieron aguas "ascendentes" fueron abandonados. En 1.849 se hace un nuevo intento infructuoso en la Plaza del Rey, dentro del casco urbano de Madrid, a expensas del Ayuntamiento de la ciudad (Bentabol, H., 1.898; Cortázar, D., 1.906); pero quizá la perforación más famosa de la época es la del Sr. Matheu en su casa de la calle de Espoz y Mina, en 1.850, abandonándose a los 195 m. de profundidad (Cortázar, D., 1.906) sin haber obtenido "aguas surgidoras".

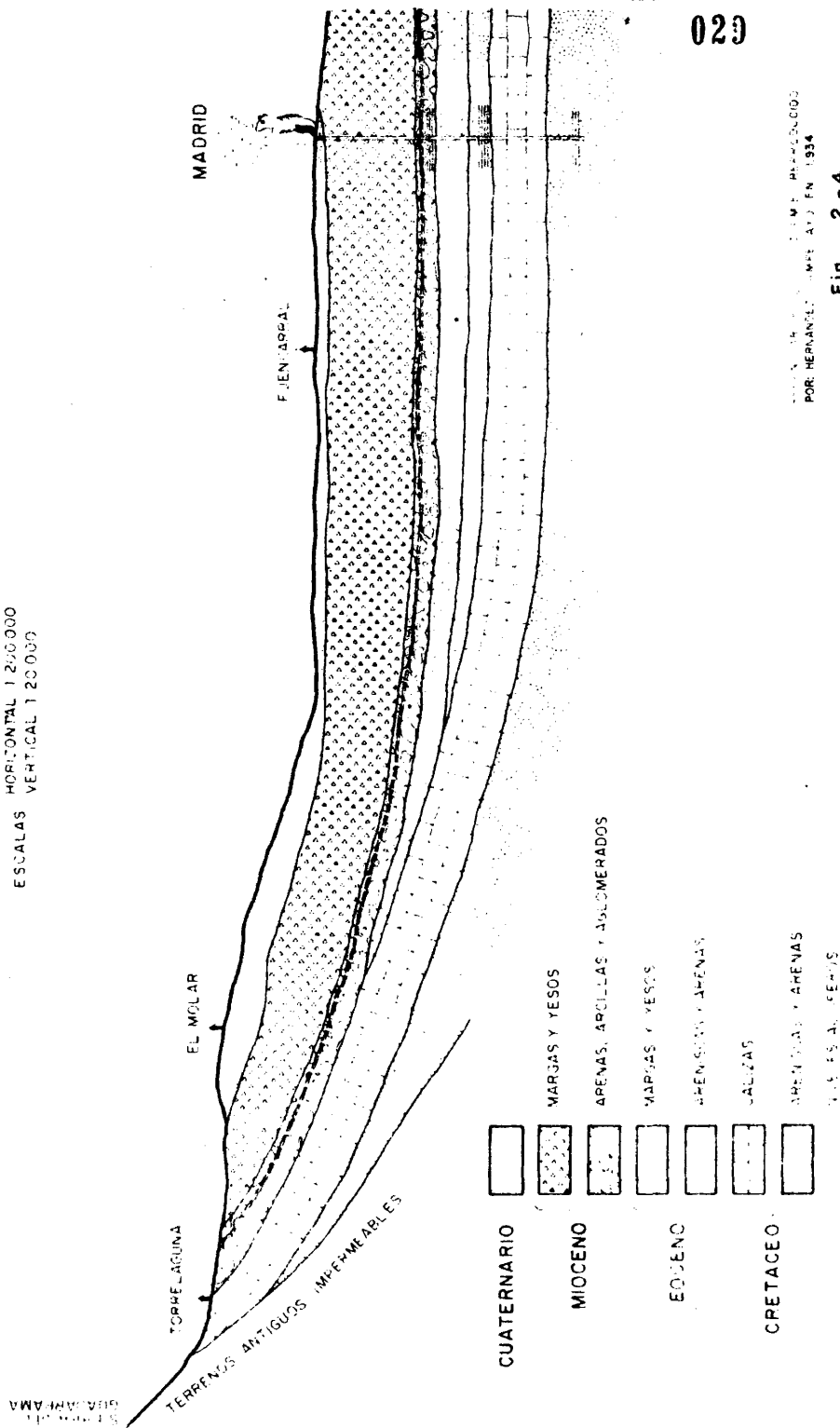
Con este último fracaso se difumina por el momento la posibilidad de encontrar estas aguas en el terreno de Madrid, dando la razón en parte a la hipótesis de Bordiú, C. (1.830); sin embargo, cabría objetar que el azar ha jugado su papel, pues casi todos los pozos se han perforado como hemos visto en zonas elevadas de la ciudad (ver Fig.2.6.), en zonas de divisoria entre el Jarama y Manzanares (Fuencarral) o en zonas de mitad de vertiente, donde en el modelo de flujo que actualmente se propone es imposible la existencia de aguas surgentes; en el caso del Campo del Moro puede que fuera decisivo el bajo desarrollo de la técnica de perforación -a percusión- empleada. No se puede por tanto achacar el fracaso al erróneo modelo conceptual de funcionamiento hidráulico adoptado, porque aún no había ninguno; por el contrario, este vacío científico, dimanado del escaso conocimiento geológico de la región, sí que debió tener gran influencia en el ánimo de los hidrogeólogos de esa época, como parece entreverse en la nota de Bordiú.

Entre 1.861 y 1.863 se vuelve a pensar tímidamente en el aprovechamiento de las aguas subterráneas de las dos Castillas, pero el intento se queda en las encuestas que sucesivamente en esos dos años se envían a los ingenieros de minas jefes de provincia.

La publicación en 1.864 de la repetidamente mencionada obra de Casiano de Prado es fundamental también en el análisis de la evolución del conocimiento hidrogeológico de la cuenca de Madrid, por cuanto lleva implícita el establecimiento del primer modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico de ella, que reproducimos en la Fig.2.4., semejante al modelo de la cuenca artesiana de París.

# CORTE ESQUEMATICO HIPOTETICO DE LA CUENCA ARTESIANA DE MADRID.

ESCALAS HORIZONTAL 1:250.000  
VERTICAL 1:200.000



029

ELABORADO POR HERNANDEZ EN 1934

Fig. 2-4



Hasta la inauguración del Canal del Lozoya, o de Isabel II, en 1.858, la capital del reino se ha abastecido únicamente con el agua de los antiguos "viajes" (Martínez Alfaro, P.E., 1.977). Sin embargo, el problema no había quedado resuelto de manera definitiva; la inicial presa de El Pontón de La Oliva es sustituida pronto por la de Navarejo, de menor volumen y aguas arriba de la anterior, ante las pérdidas que se producen en ella a través de las calizas cretácicas carstificadas, y más tarde se construye la del Villar; todo esto se traduce en deficiencias en el suministro que originan algún escrito de protesta del vecindario (Bentabol, H., 1.898). Es por esto por lo que Prado escribe en el apartado de "aguas artesianas" de su trabajo que "Madrid es acaso la capital de Europa más escasa de aguas", animando al Gobierno y al Ayuntamiento a reemprender las investigaciones. Con este espíritu están escritas las obras de Guad y Fuentes, A. (1.865) y Giménez Delgado, J. (1.865).

Nada hizo una Comisión Permanente de ingenieros de minas creada en 1.865 para formar mapas geológicos provinciales que habían de ser de "aplicación inmediata... a la investigación de aguas artesianas y minerales" (Cortázar, D., 1.906). Más efectiva fue en este aspecto la reorganización de la Comisión del Mapa Geológico de España, por la que se disponía que fuera prestada atención preferente a la "... descripción de las cuencas hidro-geológicas para la perforación de pozos artesianos..." (Cortázar, D., 1.906).

La publicación en 1.880 de la obra de Vilanova y Piera "Tratado de pozos artesianos y arte de alumbrar aguas" aumentará el interés por la construcción de pozos profundos para la explotación de las aguas subterráneas.

neas en la cuenca de Madrid. Merece también destacarse la obra de Bentabol, H. (1.898), en la que sin citar a Darcy, se hace una curiosa aplicación de la ley que lleva su nombre, descubierta en 1.856; muy identificado con el espíritu regeneracionista de la época, el autor sugiere soluciones para combatir el defectuoso régimen hidrológico del país; entre las que se incluye la modificación de la actualmente vigente Ley de Aguas y la creación de una Dirección General Hidro-geológica dependiente del Ministerio de Fomento.

Siendo director de la Comisión del Mapa Geológico D. Daniel de Cortázar y Ministro de Fomento D. Alvaro Figueroa, Conde de Romanones, se promulga el Real Decreto de 14 de Julio de 1.905 por el cual la citada Comisión queda encargada de hacer inmediatamente los adecuados estudios para determinar aquellos puntos de todo el país "donde sea más probable la existencia de corrientes subterráneas de importancia ..." (art.1º); "la Comisión ... dedicará por ahora preferentemente el personal y material de que dispone a los estudios hidro-geológicos" (art.3º), (Cortázar, D., 1.906).

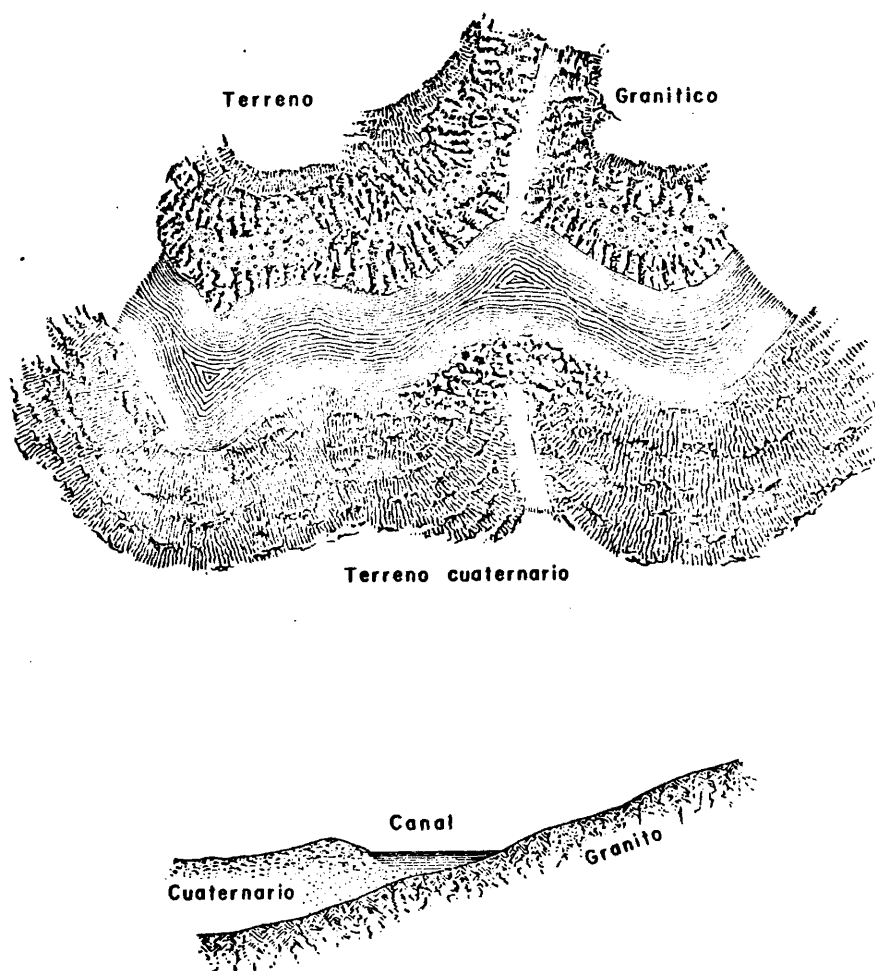
Consecuencia del citado Decreto son los estudios hidrogeológicos que comienzan a publicarse al año siguiente, comenzando con la provincia de Madrid, que es dividida en cuatro zonas; la porción de aquella incluida en nuestra región de estudio queda comprendida en las zonas 1ª y 4ª; estudiadas por los ingenieros Horacio Bentabol (1.906) y Ramón Adán de Yarza (1.906). El primero de ambos sugiere un original procedimiento para aumentar la infiltración de la lluvia eficaz : una presa construída en los cauces y barrancos, precisamente en la línea de contacto entre los materiales "cuaternarios" y graní-

ticos, y un par de "canales muertos laterales" adosados lateralmente, que seguirían en su trazado las curvas de nivel (Fig.2.5.). La porción de la provincia de Toledo abarcada por nosotros es estudiada por Rubio, C., Villate, E. y Kindelán, A. (1.908) y Alvarez Aravaca, M. (1.909).

La radiactividad del agua de los manantiales de la Sierra de Guadarrama es estudiada por Muñoz del Castillo (1.908 a y b). Asimismo, el dar la máxima difusión a lo que por el momento se conocía sobre las aguas subterráneas y sobre la construcción de pozos por procedimientos mecánicos, es el objeto de los dos manuales debidos a Fernández Navarro (1.909 a y b).

Este último autor da noticia de las perforaciones efectuadas hasta ese momento en los materiales "terciarios" y "cuaternarios" de Castilla la Nueva (Fernández Navarro, L., 1.908 y 1.909, respectivamente); todas las realizadas en los primeros han fracasado por no haber conseguido alcanzar los "niveles de aguas artesianas" (a unos 200 y 400 mts. según el autor) (Fernández Navarro, L., 1.908). Sin embargo, de una forma inesperada, algunas de las perforaciones emplazadas en los materiales "cuaternarios" (Fig.2.6.) -sólo, y no todas, las situadas en las zonas de fondo de valle- resultan surgentes (Fernández Navarro, L., 1.909); al parecer, tal fenómeno se pone de manifiesto por primera vez en El Pardo -donde de los tres primeros pozos que la empresa valenciana "Figueroa" ha construido en 1.908 dos son surgentes-, en el puente de la Princesa (Madrid) y en Talavera de la Reina, en nuestra región de Tesis. Para el citado autor, las aguas de los pozos de El Pardo son "freático-artesianas" (Fernández Navarro, L., 1.914), mientras que las

033



PLANTA Y PERFIL DE LOS CANALES DE INFILTRACION

(Según Bentabol H., 1906)

Fig. 2-5

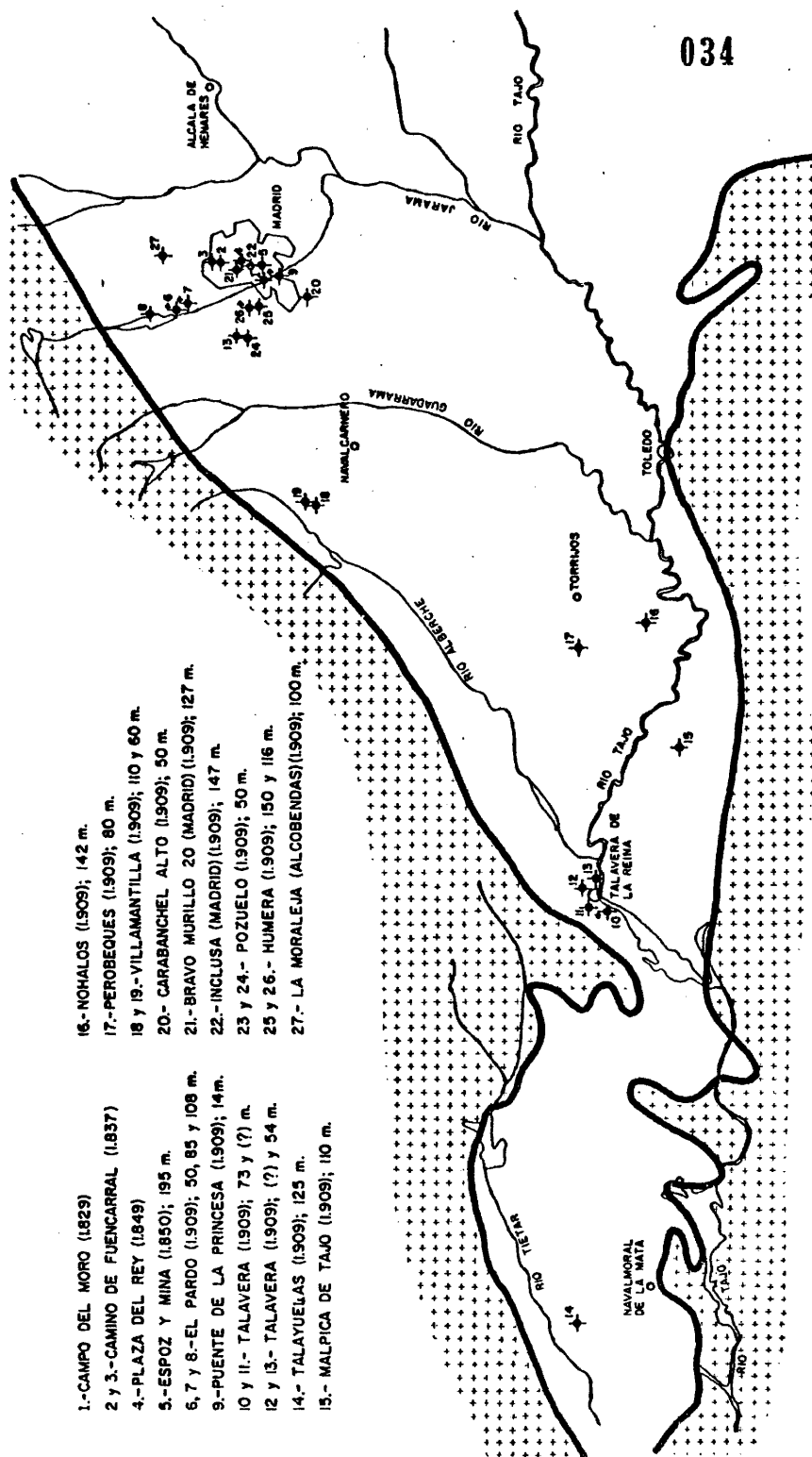


Fig. 2-6

**PERFORACIONES EN LA CUENCA DE MADRID HASTA 1909**

S un datos de Cortazar D. (1906); Sanchez R. y Alvarez M. (1906); Bentabol H. (1908);

del puente de la Princesa y Talavera de La Reina serían "seudo-artesianas" (Fernández Navarro, L., 1.909); para más detalle ver el capítulo 7.

El definitivo éxito con que se concluyen los pozos del Real Sitio de El Pardo -de diez pozos ocho han resultado surgentes-, en los que ha dado excelente resultado la técnica de perforación a rotación con circulación de lodos, empleada en la construcción de siete de los diez pozos (Janini Janini, R., 1.913), así como el Real Decreto de 28 de Junio de 1.910, por el que el Estado subvenciona las investigaciones para el alumbramiento de aguas subterráneas (I.G.E., 1.911), favorecen de nuevo el interés por éstas en la cuenca de Madrid.

Sin embargo, queremos señalar que, a nuestro juicio, los pozos de El Pardo no representan entre los hidrogeólogos de la época un modelo a imitar, sino que son simplemente un catalizador para renovar el interés por encontrar aguas artesianas profundas; el modelo sugerido por Prado (Fig.2.4.), después de medio siglo continúa aún vigente y en las publicaciones de esos años (Pérez Cossío, L., 1.913, Fernández Navarro, L., 1.914) se sigue mencionando como ejemplos a imitar los pozos de Grenelle y Passy.

Es anecdótico lo acaecido en dos grandes fincas englobadas en nuestra región de estudio, las Dehesas de Perobeques y Nohalos, en la provincia de Toledo : en ellas ya cita Fernández Navarro (1.909 c) la construcción de dos perforaciones de 142 y 80 mts., respectivamente, en busca de aguas artesianas profundas que lógicamente no encontraron, pues las citadas fincas están próximas al interfluvio Tajo-Alberche; la zona es estu-

036

diada por el ingeniero de minas Pérez Cossío, L. (1.913) que concluye recomendando un pozo de al menos 280 mts. para llegar a "los niveles acuíferos de la formación miocena", aunque las "arcosas del cretácico ... no precisan menos de 450 metros ...": prueba del entusiasmo del momento es que, a pesar del fracaso anterior, es emprendida la construcción del pozo aconsejado entre 1.916 y 1.922 (Templado Martínez, D. et al, 1.945); el citado pozo se conserva en la actualidad (628-3-13) aunque desconocemos la profundidad a la que llegó; el resultado fué negativo.

La carencia de una tecnología suficientemente desarrollada impedía que los pozos pudieran alcanzar las profundidades que se indicaban; eso debió originar un nuevo desánimo, como se deduce de la casi inexistencia de bibliografía entre 1.914 y 1.928, período en el que sólo cabe mencionar un tratado de Fernández Navarro (1.922) y un manual de Ruiz Iñiguez (1.923).

Aunque el sondeo de Alcalá de Henares (Kinde-lán, V., 1.928) no acaba de una vez por todas con el modelo artesiano de la cuenca de Madrid, si puede decirse que le asesta un golpe de muerte, puesto que por un lado desaparece la posibilidad de explotar las formaciones basales miocenas de Prado, C. (1.864) ante su inexistencia probada; por otro, habiendo resultado insuficientes los mil metros de sondeo para alcanzarlas, se esfuma también la de explotar las formaciones silíceas basales del Cretácico del centro de España. Las posibilidades de los materiales terciarios no son consideradas interesantes tanto por los bajos caudales obtenidos como por la mala calidad del agua, a pesar de resultar surgentes hasta con 25 metros de presión por encima de la boca del sondeo.

Como anuncio de lo erróneo que ésta última apreciación iba a resultar en los años venideros, en 1.933 el I.G.M.E. perfora en El Pardo un pozo de 200 mts. de profundidad, proporcionando un caudal surgente de 6 l/seg. de aguas de excelente calidad, "como la del Lozoya" (I.G.M.E., 1.933). Específicamente sobre nuestra región de estudio solo hay que mencionar las breves notas sobre "artesianismo" apuntadas en la memoria explicativa de la hoja n°581 (Navalcarnero) del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 (Hernández Sampelayo, P. y Hernández Sampelayo, A., 1.934), así como el reconocimiento del terreno mediante pequeños sondeos, para la realización, en años posteriores, de diversas obras civiles (García Vedoya, A., 1.932 a y b, 1.933 a y b; Antón Oneca, M., 1.934 a y b, 1.935).

## 2.3.- LAS IDEAS ACTUALES (1.940-1.977).

### 2.3.1.- Los conocimientos geológicos.

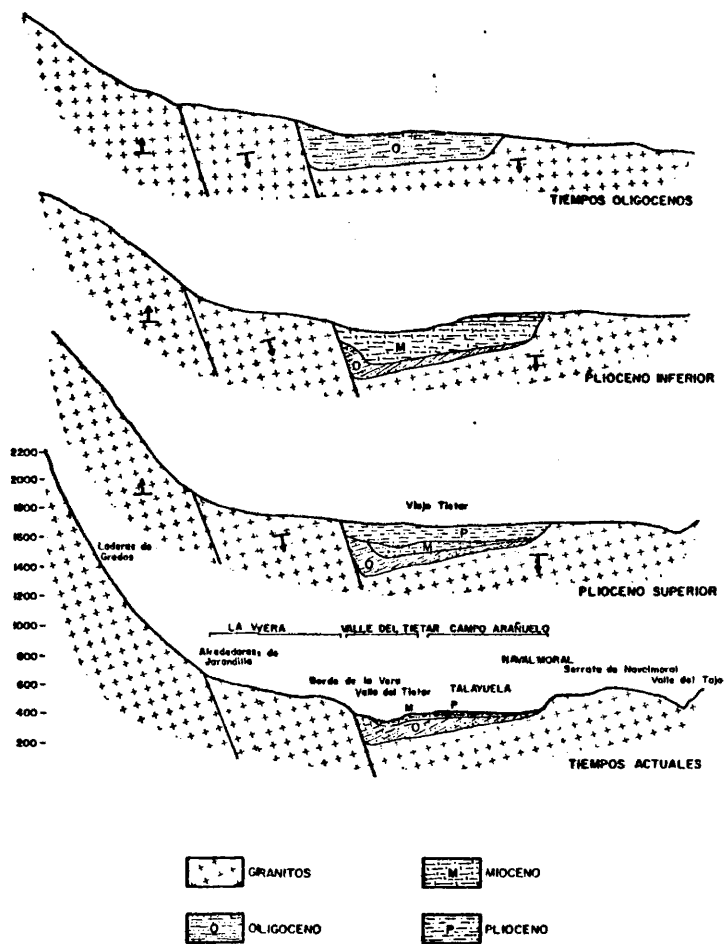
El primer trabajo que es preciso destacar en esta segunda etapa es el muy conocido de Vidal Box (1.942) relacionando el análisis morfológico del accidente tectónico meridional de la Sierra de Guadarrama con las investigaciones geofísicas de García Siñeriz ya comentadas; para el autor el accidente habría que situarlo en el Terciario medio y aún inferior, siendo fosilizado por las formaciones conglomeráticas de borde, ... "reviviscencia muy reciente pliocena de la tectónica sur-guadarrameña"; incomprensiblemente, no se tienen en cuenta las observaciones hechas por Royo y Gómez años atrás (1.930 a y 1.934) en el sentido de que estas formaciones marginales no sólo no fosilizan al citado accidente sino que son afectadas por él.



Por otro lado, Hernández Pacheco, E. en 1.943 desarrolla sus ideas esbozadas en 1.929, describiendo el Paleógeno de facies continental de las regiones occidentales de España y de la zona fronteriza con Portugal; de nuevo, es relegado otro aspecto de la línea de pensamiento de Royo y Gómez que no es citado por el autor en todo el texto, aunque reconoce que "es de suponer que los terrenos paleógenos ... puedan encontrarse también en el fondo de las cuencas miocenas, sobre el sustrato mesozoico, que en la fosa del Tajo será probablemente el cretácico".

En la década de los años 40 el I.G.M.E. reanuda la publicación de las memorias explicativas de las hojas geológicas a escala 1:50.000 correspondientes a nuestra zona de estudio; Gálvez, A. y Jordana, L. (1.941) son los responsables de la hoja nº558 (Villaviciosa de Odón) así como Templado, D., Meseguer, J. y Cantos, J. lo son de la nº627 (Talavera de La Reina), 603 (Escalona), 604 (Villaluenga) y 628 (Torrijos) (1.942, 1.945 a, b y c, respectivamente); Gálvez, A., Jordana, L. y Kindelán, J.A. (1.950) son los autores de la nº580 (Méntrida), mientras que Kindelán, J.A. y Hernández Pacheco, F. (1.952) y Kindelán, J.A. y Cantos, J. (1.952) realizan las de Navamorcuende (nº602) y Calera y Chozas (nº626), con lo que queda batida íntegramente nuestra región de Tesis. Como contrapartida hay que decir que el nivel de información que suministran, en general, es bajo.

En la Fig.2.7 reproducimos la evolución geomorfológica que Hernández Pacheco, F. (1.950) propone para la comarca de Campo Arañuelo y valle del Tiétar, colindantes por el SW con nuestra región de estudio; como puede observarse, sigue considerando la existencia de



# EVOLUCION GEOMORFOLOGICA DEL PAIS EN QUE SE ASIENTAN

## LA VERA, VALLE DEL TIETAR Y CAMPO ARAÑUELO

(Según Hernandez Pacheco F., 1950)

Fig. 2-7

una importante formación pliocena, de acuerdo con las ideas ya comentadas de Hernández Pacheco, E.

Fúster, J.M. y De Pedro, F. (1.954) comprueban que "la falla meridional de la Sierra de Guadarrama ... es un contacto inverso con un plano de falla sumergido hacia el NO de 70° a 80°, aproximadamente", tal como Royo y Gómez sugirió en 1.934; son los primeros en intuir que el trazado de los ríos sur-guadarrameños podría estar controlado por el régimen de fracturas meridianas. A partir de este trabajo y de otros en zonas próximas, el complejo ígneo y metamórfico de la porción del Sistema Central colindante con nuestra región de estudio es estudiado en detalle por los colaboradores del profesor Fúster (Peinado Moreno, M., 1.970 y 1.973; Memdes, F., Fúster, J.M., Ibarrola, E. y Fernández Santín, 1.972; Casquet, C., 1.975; Aparicio, A., Barrera, J.L., Caraballo, J.M., Peinado, M. y Tinao, J.M., 1.975) y otros autores (Bard, J.P., Capdevila, R. y Matte, P., 1.970; Ubanell, A.G., 1.976 y 1.977; etc.).

Crusafont, M. y Villalta, J.F. (1.954) revisan la estratigrafía del Neógeno de las cuencas del Tajo y Duero basada en los hallazgos paleontológicos; en la nueva clasificación estratigráfica que proponen para la primera de ellas, el "Tortonense" de Royo y Gómez es sustituido por el más amplio de "Vindoboniense", a la vez que el "Sarmatiense" lo es por el "Vallesiense", manteniendo el término "Pontiense". Una notable síntesis de la evolución geomorfológica de la Meseta durante el Terciario es abordada por Solé, L. precisamente en este mismo año de 1.954.

Riba, O. (1.957) distingue cuatro litofacies marginales detríticas que denomina "Madrid", "Toledo", "Guadalajara" y "Alcarria" en función de la diversa naturaleza de las áreas fuentes respectivas, estableciendo el desarrollo en superficie de cada una; asimismo realiza un notable mapa geomorfológico de los alrededores de Madrid : los términos que utiliza, tales como "superficie de Madrid", "superficie de Paracuellos" y "superficie de los Páramos" son absolutamente válidos actualmente (López Vera, F. y Pedraza, J., 1.976). Los estudios mineralógicos detallados de los sedimentos terciarios de la fosa del Tajo, que habían sido iniciados por Pérez Mateos, J. (1.952 y 1.955) comprueban lo acertado de las sugerencias de Riba (Benayas, J., Pérez Mateos, J. y Riba, O., 1.958 y 1.960); se establecen así mediante estas técnicas las provincias petrográficas de Toledo, Madrid, Guadalajara y Alcarria que encajan bastante bien con las litofacies de Riba, O. (1.957).

Alía, M., que ya había publicado algunos trabajos sobre el relleno terciario de la Meseta (Alía, M. 1.945 a y b), publica en 1.960 su conocido ensayo interpretativo de la tectónica de la Fosa del Tajo. A partir del reconocimiento lito-estratigráfico y estructural detallado de los materiales de un área restringido de la mencionada Fosa, y de observaciones en áreas circundantes, deduce que el basamento está más deprimido en las proximidades del Sistema Central que en las áreas orientales de la cuenca; esta estructura "sería consecuencia de una tectónica de fracturación en bloques del basamento, con procesos de compresión y acunamiento hacia el macizo levantado del Sistema Central" (Fig.2.8), produciéndose en la covertera una tectónica de revestimiento como fiel reflejo de tal conjunto de fenómenos.

## 042

Las formaciones de bloques, conglomeráticas y arenáceas del borde meridional del Sistema Central que rodean Madrid por el W, N y E son objeto de los trabajos de Asensio, I. (1.960 y 1.965), Hernández Pacheco, F. (1.962) y Hernández Pacheco, F. y Asensio, I. (1.964). Ambos sugieren una edad pliocena para estos materiales, que serían la consecuencia de un rejuvenecimiento del relieve producido en los tiempos finales del Plioceno y de unas características climáticas de acusada aridez; la "Formación de Bloques" sería equivalente a la formación típica de raña cuando ya los materiales son mucho más finos y homogéneos (Hernández Pacheco, F., 1.962).

Sin embargo el descubrimiento de fósiles miocenos (Hernández Pacheco, F. y colaboradores, 1.969) en una formación de " ... aspecto y características en todo semejantes a la formación de arenas arcillosas pliocenas ..." obliga a pensar en la existencia de dos formaciones muy parecidas, una miocena y otra pliocena. Mingarro, F. y Marfil, R. (1.966) estudian mediante las técnicas de la Petrología Sedimentaria estos depósitos arcósicos supuestamente pliocenos, distinguiendo un tramo inferior arcósico y un tramo superior conglomerático arcósico.

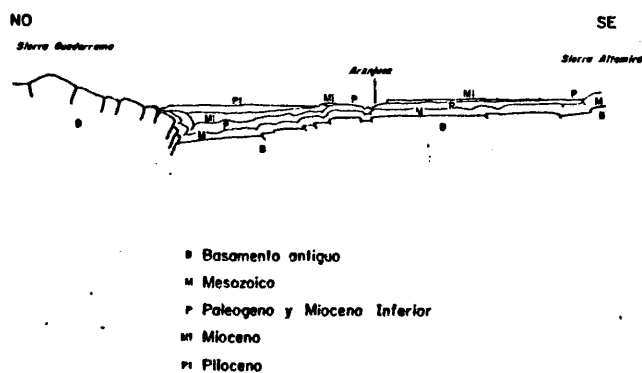
Para Pérez Mateos, J. y Vaudour, J. (1.972), la dificultad mayor está en la datación de las arenas de los alrededores de Madrid, ante la ausencia de fósiles, así como en la interpretación de sus relaciones con las facies químicas; para estos autores la "rampa de Griñón", prolongación meridional de la "superficie de Madrid" de Riba, O. (1.957), representa no un antiguo nivel intacto sino "un nivel de degradación o sustitución de menor altitud", basándose en la ligera alteración de las arenas arcósicas en las que dicha rampa se desarrolla. Re-

cientemente Ochaíta, L. (1.977) supone la existencia de una superficie de erosión post-miocena "S-I" que es dislocada al final del Plioceno por un nuevo reajuste tectónico del Macizo Central que propicia la deposición de la "Formación de bloques", tras lo cual tiene lugar una nueva etapa de arrasamiento que da lugar a la superficie de erosión post-pliocena "S-II", que localmente el citado autor observa fracturada, reconociendo por ello la "existencia de una tectónica post-pliocena que afectó a la formación detrítica de grandes bloques".

El primer trabajo en que se determina la mineralogía de las arcillas en algunas muestras de los sedimentos terciarios de la depresión del Tajo es el ya citado de Benayas, J., Pérez Mateos, J. y Riba, O. (1.960), secundado por los de Alonso, J., García, J. y Riba, O. (1.961 y 1.964) y Huertas, F., Linares, J. y Martín Valdi, J.L. (1.970 y 1.971). La contribución de los minerales de la arcilla a la diferenciación de facies sedimentarias se discute en López Aguayo, L. y Caballero, M.A. (1.973) y su aplicación a los materiales terciarios de los alrededores de Alcalá de Henares se puede ver en Martín, I., Brell, J.M. y Galán, E. (1.976).

Entre 1.971 y 1.972 el I.G.M.E. edita las hojas geológicas a escala 1:200.000 dentro del plan de síntesis de la cartografía existente previo al proyecto MAGNA; nuestra zona de estudio se reparte entre las hojas nº45 (Cátedra de Geodinámica Interna y División de Geología del I.G.M.E., 1.971), nº52 (Arribas, A., Jiménez, E. y Fúster, J.M., 1.971), nº44 (Arribas, A. y Jiménez, E., 1.972) y nº53 (División de Geología del I.G.M.E., 1.972). Otros mapas de interés son los de Rocas Industriales (Enadinsa, 1.973 y Geoprín, S.L., 1.974) y geotécni-

044



CORTE GEOLOGICO-ESTRUCTURAL DE LA DEPRESION TECTONICA  
 DEL TAJO (Según Alía M. 1960)

Fig. 2-8

cos (Ibergesa, 1.973 y División de Geotecnia del I.G.M.E. e Ibergesa, 1.974), ambos a escala 1:200.000, así como el "Estudio Previo de Terrenos para la Autopista Madrid-Badajoz" (Sección de Geotecnia y Prospecciones y Geoexperts, S.A., 1.975).

El profesor Alía se plantea en 1.972 la evolución posthercínica de la Meseta; a partir de este trabajo, los materiales terciarios de la Fosa del Tajo son estudiados con detalle por sus colaboradores. Referentes a nuestra región de Tesis en particular, una primera interpretación litoestratigráfica de la depresión terciaria entre Madrid y el límite occidental de aquella se recoge en Martín, C. y Hernández, J.L. (1.972), Martín, C., Carbó, A. y Ubanell, A.G. (1.973) y Carbó, A., Ubanell, A.G. y Martín, C. (1.973), mientras que una segunda interpretación de la región de Talavera de La Reina-Escalona es dada por Martín, C. (1.974); Cadavid, S. (1.973 y

1.977) y Hernández, M.E. (1.974) investigan la disposición del basamento por métodos geofísicos; asimismo, la tectónica profunda de la Meseta es el objeto del trabajo del francés Tamain, G. (1.975). Tomando como punto de partida las observaciones realizadas por Martín, C. (1.976 a, b y c), Alía, M. (1.976) señala una megaestructura en la Meseta Ibérica, denominada por el autor "Bóveda Castellano-Extremeña", que le lleva a sugerir una nueva interpretación de aquella.

Una nueva revisión de la cronoestratigrafía del Neógeno es realizada por Aguirre, E. (1.974 y 1.975) y Aguirre, E., Díaz, M. y Pérez, A. (1.976). Por otro lado, el sistema de terrazas del río Tajo y del Bajo Alberche es estudiado por Shafic, S. (1.973) y Alférez, F. (1.974).

Los encostramientos y costras calcáreas observadas en la región de Madrid son estudiados por Vaudour, J. (1.975); Pedraza, J. que ya había trabajado sobre la geomorfología de la cadena de S. Vicente - Peña de Centenios (Pedraza, J., 1.973), define la depresión de Aldea del Fresno - Almorox (Pedraza, J., 1.976). Para terminar, citaremos el estudio petrológico realizado por Bustillo, M.A. (1.976) sobre las rocas silíceas neógenas de la Fosa del Tajo, parte de las cuales están representadas en nuestra región de Tesis.

#### 2.3.2.- De la cuenca artesiana de Madrid a los modelos tridimensionales de flujo del agua subterránea

El período comprendido entre 1.940 y 1.953 es bastante pobre en publicaciones de índole hidrogeológica; tan sólo hay que mencionar un trabajo debido a Marín, A.



(1.942), así como los capítulos de hidrología subterránea de las Memorias explicativas de las hojas geológicas a escala 1:50.000 de Villaviciosa de Odón (Gálvez, A. y Jordana, L., 1.941), Talavera de La Reina, Escalona (ahora Fuensalida), Villaluenga y Torrijos (Templado, D. Meseguer, J. y Cantos, J., 1.942 y 1.945 a, b y c, respectivamente), Méntrida (Gálvez, A., Jordana, L. y Kindelán, J.A., 1.950), Navamorcuende (Kindelán, J.A. y Hernández Pacheco, F., 1.952) y Calera y Chozas (Kindelán, J.A. y Cantos, J., 1.952), en las que simplemente se describen los puntos de agua (pozos y manantiales) existentes en los términos municipales abarcados por la hoja geológica en cuestión, siendo prácticamente una repetición de los trabajos ya mencionados de Bentabol, H. (1.906), Adán de Yarza, R. (1.906), Rubio, C., Villate, E. y Kindelán, A. (1.908) y Alvarez Aravaca, M. (1.909). Para Rebollo, L.F. (1.977) esta inactividad investigadora se debería, al menos en parte, al desengaño sufrido por los negativos resultados del sondeo de Alcalá de Henares.

Kindelán, J.A. (1.953) tratando de explicar el "funcionamiento de las aguas subterráneas" de las cuencas del Tajo y Guadiana en Castilla La Nueva introduce algunas modificaciones en el modelo de la cuenca artesiana de Madrid; el área de infiltración no se limitaría a las zonas marginales de la cuenca (afloramientos del Mesozoico y Oligoceno) sino también a los granitos, pues "... aunque podemos admitir la impermeabilidad en profundidad, no ocurre así superficialmente ..."; los pozos surgentes se siguen explicando porque "... a veces se encuentran niveles artesianos entre dos lechos impermeables de naturaleza arcillosa". En otro orden de cosas, Cantos, J. (1.953) recoge las zonas de la depresión terciaria del Tajo donde han sido utilizados los métodos geofísicos en la prospección de aguas subterráneas.

Pérez Regodón, J. y Chamero, A. (1.962) estudiando para el I.G.M.E. la hidrogeología de la zona norte-central de la provincia de Toledo siguen manteniendo que el contacto de los materiales de la Cordillera Central con los sedimentos terciarios constituye una zona de fácil infiltración para las aguas superficiales, tal y como pensaba Bentabol a finales del siglo pasado (Bentabol, H., 1.898 y 1.906; Fig.2.5). Para estos autores las aguas subterráneas que circulan por la región estudiada pertenecen a dos grupos distintos : las correspondientes a niveles freáticos y las de niveles profundos, éstas últimas con carácter artesianiano y de origen lejano. El artesianismo se explica en este trabajo de una manera algo distinta de como se ha explicado hasta ahora.

La situación crítica a que llega el suministro de agua al Area Metropolitana de Madrid en el año 1.965 (García Agustín, J., 1.974) lleva al Canal de Isabel II a tomar una serie de medidas entre las que destaca el pensar otra vez en utilizar las aguas subterráneas de los terrenos cretácicos y terciarios de los alrededores de Madrid. El I.G.M.E. elabora por encargo del Canal dos proyectos (I.G.M.E. - CYII, 1.966 a y b) para explotar las aguas subterráneas de la cuenca de Madrid; el funcionamiento hidrogeológico que se sugiere es el mismo que hemos apuntado hasta ahora, pero se lanza la hipótesis de la posible existencia de "una circulación muy importante de aguas subterráneas hacia Talavera de La Reina, donde serían consumidas por evapotranspiración". Este será uno de los puntos de discusión de nuestra Tesis Doctoral.

Voute, C. (1.966) comentando el informe del I.G.M.E. afirma que " ... es normal buscar la alimenta-

ción principal en las zonas de borde de la Meseta"; en este trabajo ya se sugiere que las calizas cretácicas de borde de la sierra forman una unidad hidrogeológica individualizada, como más adelante comprobará Corchón, F. (1.974).

El espesor de los materiales cuaternarios aluviales en algunas zonas de nuestra región de estudio se puede obtener de los informes del Servicio Geológico de Obras Públicas (1.959 y 1.960), así como de U.E.M.S.A. (1.964). Por otro lado, Pérez Regodón, J. (1.970) reúne una buena parte de las columnas litológicas de pozos y sondeos ejecutados hasta ese momento en los materiales terciarios de la cuenca de Madrid, afirmando que éstos " ... no se depositaron en forma de capas continuas en su composición, sino formando lentejones que se limitan lateralmente y en profundidad ...".

Nuestra región de estudio queda comprendida en el sistema acuífero nº14 del Mapa Hidrogeológico Nacional (I.G.M.E., 1.971), sistema que, en acertada opinión de San José, M.A. (1.971), " ... está constituido por un único acuífero instalado sobre materiales detríticos de origen fanlomerático ..."; para este autor la recarga principal procede del macizo granítico quedando relegada la alimentación directa a la llamada "facies de bolos".

La recopilación más completa realizada hasta el momento en cuanto a datos pluviométricos de la cuenca del Tajo quizás sea la publicada recientemente por el Centro de Estudios Hidrográficos (M.O.P. - D.G.O.H. - C.E.H., 1.976); el cálculo de la evapotranspiración potencial por métodos distintos en diversas estaciones pluviométricas comprendidas en nuestro estudio se hace

en Elías, F. y Giménez, R. (1.965) y en Elías, F. (1.975). El régimen hidrológico del río Alberche es estudiado por el Centro de Estudios Hidrográficos (1.971); los datos de aforos de los ríos Alberche y Tajo y afluentes de ambos están recogidos en los anuarios que publica la Dirección General de Obras Hidráulicas desde 1.966. El estudio del quimismo de las aguas del Tajo y sus afluentes es iniciado por Catalán, J. (1.965), continuándose con la creación de la Sección de Contaminación y Depuración de Aguas en el marco del C.S.I.C. Datos actuales de las características químicas de las aguas de los ríos Tajo y Alberche pueden obtenerse de M.O.P. (1.975). Roquero, C. y Gasco, J.M. (1.976) han estudiado para la Diputación Provincial de Toledo la calidad de las aguas de la cuenca media del Tajo.

Desde 1.970 el conocimiento hidrogeológico de la cuenca de Madrid, y en general de todo el país, ha aumentado considerablemente, como lo refleja el brusco incremento del número de publicaciones respecto de años anteriores. Diversos autores coinciden (Solé Sabarís, L, en Davis y De Wiest, 1.971, prolog. ed. española; Llamas, M.R., 1.974) atribuyendo este fenómeno a los cursos de hidrogeología para postgraduados que desde 1.966 y 1.967 se imparten en Madrid (Curso de Hidrogeología "Noel Llopis" y Curso de Hidrogeología Aplicada) y Barcelona (Curso Internacional de Hidrología Subterránea). Precisamente dentro de los trabajos prácticos que son realizados por los alumnos del primero de los cursos citados, señalaremos los de Butenko, J. y Cuevas, M. (1.975), Alvarado, A. y Lunamba, K. (1.976), Rodríguez, A. (1.976) y Cáceres, T., Domínguez, R. y Camilo, C. (1.977) en los que se aborda el estudio de la permeabilidad de los materiales terciarios detríticos por métodos de laborato-

rio, comparándose los resultados con los obtenidos por métodos clásicos (ensayos de bombeo).

A modo de "declaración de principios", una nueva hipótesis sobre el funcionamiento hidrogeológico de los materiales terciarios de la cuenca de Madrid, sensiblemente diferentes a las anteriores, es formulada por Llamas, M.R. y López Vera, C.F. (1.974), basada en las hipótesis de Hubbert, M.K. (1.940) y Toth (1.962 y 1.963). El primero de los autores, Profesor Agregado de Hidrogeología de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid desde 1.972 (actualmente Catedrático Numerario de Universidad) y desde 1.974 Jefe de la Sección de Investigación de Recursos Hidráulicos del Instituto "Lucas Mallada" del C.S.I.C., es el director de un vasto plan orientado hacia el conocimiento, por primera vez y en detalle, del origen, movimiento, renovación y posibilidades de explotación de las aguas subterráneas que saturan los materiales detríticos terciarios de la Cuenca de Madrid.

Los resultados del citado plan, hasta el momento, se han plasmado en cuatro Tesis Doctorales ya defendidas (López Vera, F., 1.975; Martínez Alfaro, P.E., 1.977; Rebollo Ferreiro, L.F., 1.977; Villarroja, F.I., 1.977) -siendo la nuestra la que hace el número cinco-, así como en buena cantidad de publicaciones que han abarcado diversas especialidades de la ciencia hidrogeológica: el estudio mediante modelos digitales de los recursos hidráulicos subterráneos del Terciario de Madrid, basado en Prickett, T.A. y Londquist, C.F., (1.971), se aborda en Cruces, J. y Llamas, M.R. (1.975), Llamas, M.R. (1.976 a y b) y Cruces, J. y Llamas, M.R. (1.976 a y b); Saiz, J. y Rebollo, L.F. (1.975), y López Vera, F. y Saiz,

J. (1.977) estudian las relaciones entre las aguas superficiales y subterráneas; la contaminación de las aguas subterráneas se discute en López Vera, F. y Safz, J. (1.973) y López Vera, C.F. y Herráez, M.I. (1.976); Sastre Merlín, A. (1.975 y 1.976 b) sugiere la existencia de flujos regionales; Rebollo, L.F. y Villarroya, F.I. (1.976), Villarroya, F.I. y Rebollo, L.F. (1.976) estudian la distribución de caudales específicos en diversas zonas de la cuenca de Madrid, mientras que Llamas, M.R. y López Vera, F. (1.977) analizan las características tecnológicas de las captaciones.

Por último es preciso señalar la labor realizada por el buen equipo de profesionales aglutinados en torno al Servicio Geológico de Obras Públicas; prueba de ello son estudios hidrogeológicos regionales (S.G.O.P. - C.A.T. e INTECSA, 1.973 y 1.975; S.G.O.P. - C.A.T. y ENADIMSA, 1.976; Octavio de Toledo, F., 1.975 y 1.976), estudios económicos (Andolz, J., 1.972; López Camacho, B., 1.974) y estadísticos (López Camacho, B., 1.975).

052

PRIMERA PARTE

EL MEDIO HIDROGEOLOGICO

053

CAPITULO 3

LOS MATERIALES. CARACTERISTICAS LITOESTRATIGRAFICAS



### 3.- LOS MATERIALES. CARACTERISTICAS LITOESTRATIGRAFICAS

#### 3.1.- INTRODUCCION

La finalidad de este capítulo es definir y caracterizar un conjunto de unidades litoestratigráficas que ejerzan un diferente control sobre los diversos parámetros del régimen de las aguas subterráneas, es decir, señalar un conjunto de unidades litoestratigráficas que ya por sus características texturales o estructurales, ya por su composición química o mineralógica, se comporten de modo distinto frente a las aguas subterráneas que las saturan.

Así pues, la finalidad perseguida ha condicionado en gran manera la metodología y el grado de detalle con que hemos trabajado. Un primer paso para la diferenciación de estas unidades ha sido la consulta de la bibliografía existente; en una segunda etapa se sintetizó esta información, utilizando como herramienta de trabajo la fotografía aérea de la región estudiada, con revisión en el campo; por último, en una tercera etapa consideramos la información geológica que sobre la distribución de aquellas unidades en profundidad, podían suministrar las cerca de 200 columnas litológicas de pozos y sondeos que se han recopilado a lo largo del estudio, así como los registros geofísicos de sondeos de investigación que nos han sido cedidos por diversos organismos, especialmente el Servicio Geológico de Obras Públicas y la Junta de Energía Nuclear.

Es lógico que algunas de estas unidades coincidan "grosso modo" con las definidas por otros autores mediante criterios estrictamente geológicos, puesto que esos criterios de diferenciación geológica tales como



## 056

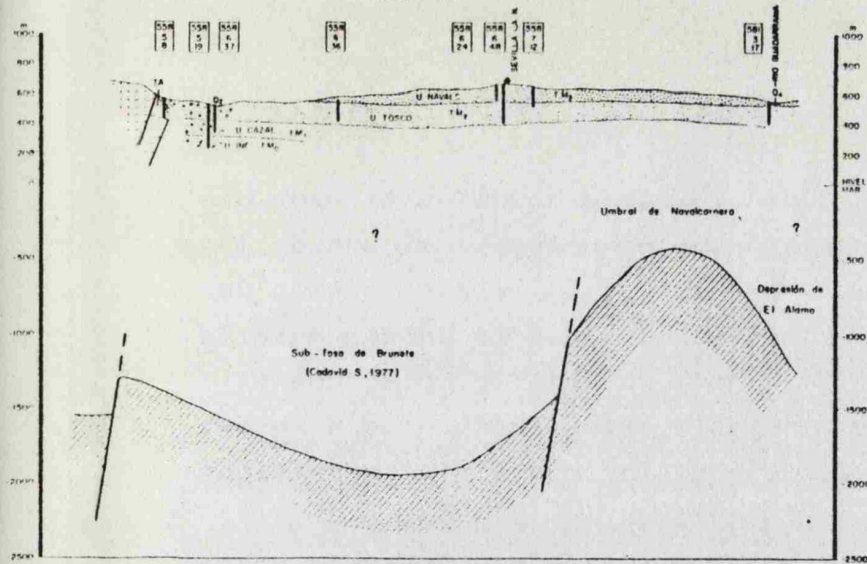
granulometría, naturaleza de los clastos o de la matriz, frecuencia o espesor de las capas, etc., son también criterios de diferenciación hidrogeológica.

Por otro lado hemos de resaltar que algunas de las unidades que más adelante definiremos solo han podido ser caracterizadas a partir de los datos proporcionados por las columnas litológicas o registros geofísicos de sondeos y pozos, puesto que en ningún momento llegan a aflorar en la superficie del terreno; tal es el caso de un posible Oligoceno constituido por calizas con sílex que aparece en la región de Talavera de La Reina bajo la cobertera de materiales terciarios más modernos, directamente adosado al zócalo granítico y cuya existencia antes solo era conocida a más de cien kilómetros de distancia hacia el NE., en los alrededores de Quijorna; también el de la denominada por nosotros "Unidad Inferior", denominación con la que pretendemos englobar al último paquete de materiales detríticos terciarios del que se pueden inferir algunas características geológicas e hidrogeológicas. Debemos decir por último que el carácter tectónico del contacto entre el conjunto sedimentario y el macizo granítico septentrional ha podido comprobarse a partir de los datos de algunos sondeos que han interesado dicho contacto.

### 3.2.- EL BASAMENTO

La denominada Meseta Castellana tiene como germen el macizo arcaico de la región central, uno de los tres grandes macizos arcaicos que existen en la Península, remanentes que son de tres grandes zonas de plegamiento precámbrico y "fundamento de lo que iba a ser Península Ibérica" (Mapherson, J., 1.901); de acuerdo con este

CORTE I-I'



LEYENDA

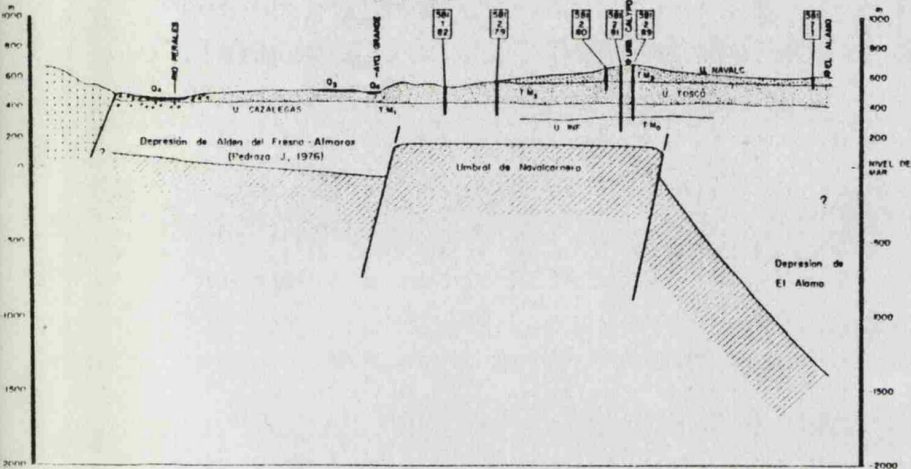
- CUATERNARIO  $Q_1, Q_2$  DEPOSITOS DE TERRAZAS Y LADERIA ALUVIAL ACTUAL
- MIOCENO SUP OLIO SUP 1
- $TM_1$  U. NAVILC
  - $TM_2$  U. TORO
  - $TM_3$  U. TORO
  - $TM_4$  U. EL CARPIO
  - $TM_5$  U. CAZAL
  - $TM_6$  U. MALPICA
  - $TM_7$  U. INFERIOR
- OLIO INF 1  $TA_1$  MATERIALES TERCIARIOS ANTIGUOS
- CRETACEO  $CR$  MATERIALES CRETACIOS
- BASAMENTO  $BP$  ROCAS FILOTONICAS Y METAMORFICAS

SIMBOLOGIA

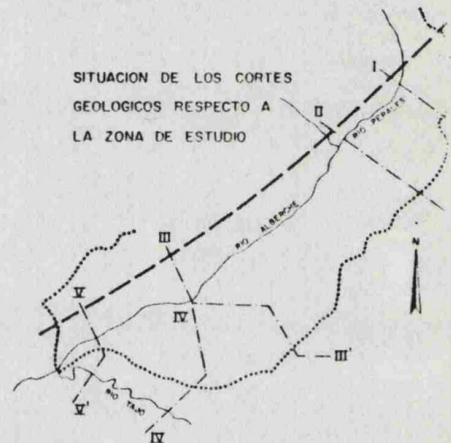
$SSR$  POZO O SINDEN EN EL QUE SE HA CONTROLADO EL CONTACTO ENTRE UNIDADES LITOLÓGICAS CON MARCA DE SU PREFERENCIA EN EL INVENTARIO

ZONAL CONTRASTE DE DENSIDAD  $-0.4 \text{ g/cm}^3$   
(Según datos proporcionados por Cadauid S y reproducidos en Cadauid S, 1977)

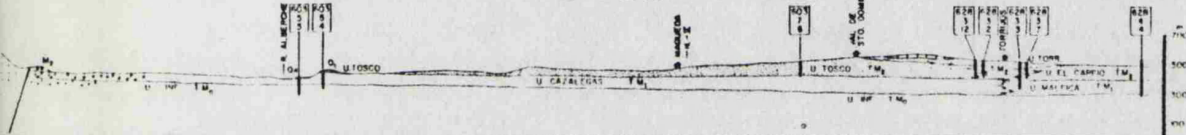
CORTE II-II'



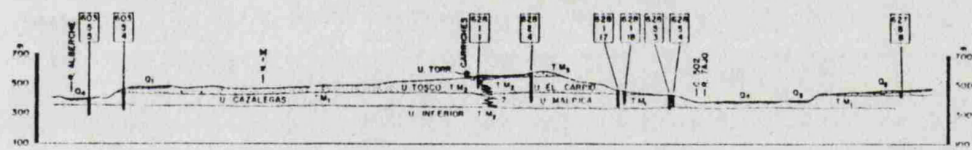
SITUACION DE LOS CORTES GEOLOGICOS RESPECTO A LA ZONA DE ESTUDIO



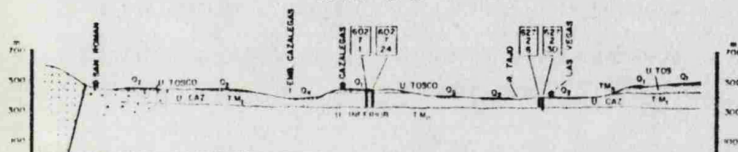
CORTE III-III'



CORTE IV-IV'



CORTE V-V'



ESCALA HORIZONTAL 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Km

CORTES GEOLOGICOS

FECHA: FEBRERO, 1978

ESCALAS: H 1:100,000  
V 1:20,000

Realizado: A. SASTRE

Dibujado: J. M. ANGUERO

PLANO Nº 2

autor, es muy probable que ya desde aquellos tiempos que dara esbozada la "depresión hispano-lusitana" una de las grandes áreas de hundimiento no ya de la Meseta sino de la actual Península. Posteriormente se le adosan materiales depositados a lo largo del Paleozoico, plegados y metamorfeizados por la orogenia hercínica que es a su vez responsable de la inyección de los materiales graníticos.

Las áreas elevadas actuales en la Meseta castellana (Sistema Central y Montes de Toledo) son dos de los límites de nuestra región de estudio; el Sistema Central, de mayor importancia, está representado por las estribaciones más occidentales de la Sierra de Guadarrama y sobre todo por las más orientales de la Sierra de Gredos; por otro lado es el sector medio de los Montes de Toledo el que por parte de éste sistema montañoso va a tener influencia sobre nuestra zona.

Recientemente, Alfá, M. (1.976), con base en las observaciones y estudios desarrollados por el equipo de investigación que éste profesor dirige, ha sugerido la existencia de una megaestructura cortical que denomina "Bóveda castellano-extremeña", que supone una nueva interpretación geotectónica, para los tiempos alpinos, de la Fasa del Tajo; sus elementos definidores se encuentran tanto en aquellas regiones donde el zócalo aflora como en aquellas otras donde formaciones sedimentarias más recientes lo ocultan.

Aunque no es el estudio del zócalo cristalino el fin de nuestro trabajo, creemos conveniente hacer unas breves consideraciones sobre la naturaleza de ambos sistemas montañosos por dos motivos evidentes : ser el área madre de los materiales sedimentarios de la Cuenca de Ma

drid y al mismo tiempo ser límite, tanto lateralmente como en profundidad, del acuífero constituido por esos materiales.

### 3.2.1.- Las Sierras de Gredos y Guadarrama

En este gran complejo cristalino pueden diferenciarse tres conjuntos (Cátedra de Geodinámica Interna y División de Geología I.G.M.E., 1.971) : el conjunto metamórfico, el conjunto granítico y las formaciones filonianas.

El conjunto metamórfico está integrado fundamentalmente por neises nodulares o glandulares y a veces de carácter migmatítico. Están constituidos por feldespatos (microclina y oligoclasa) cuarzo y micas (biotita y moscovita), aunque a veces existen variedades turmaliníferas y granatíferas; entre los minerales accesorios están la magnetita, ilmenita, circón, titanita y apatito. Otro grupo de rocas metamórficas, de menos importancia, son las llamadas calizas cristalinas (mármoles y otras rocas piroxénicas y anfibólicas). Estudios de detalle sobre las rocas metamórficas del sector El Escorial-Arenas de San Pedro puede verse, en primer lugar, en Fúster, J.M. y De Pedro, F. (1.954) y seguidamente en Fúster, J.M. y Mora, A. (1.970), Bard, J.P., Capdevila, R. y Matte, P. (1.970), Peinado, M. (1.970 y 1.973) y Casquet, C. (1.975).

El conjunto granítico, aunque posterior a la formación metamórfica, tiene una mayor extensión de afloramiento que ésta; en el sector El Escorial-Arenas de San Pedro han sido estudiados, además de por Fúster, J. M. y De Pedro, F. (1.954), por García de Figuerola, C.

## 060

(1.968); Bard, J.P., Capdevila, R. y Matte, P. (1.970); Mendes, F., Fúster, J.M., Ibarrola, E. y Fernández Santín (1.972) y Aparicio, A., Barrera, J.L., Caraballo, J.M., Peinado, M. y Tinao, J.M. (1.975). Recientemente, Ubanell, A.G. (1.977) ha puesto de manifiesto algunas directrices estructurales a partir del distinto emplazamiento en el espacio y en el tiempo de los cuerpos plutónicos.

En este conjunto, dentro del término municipal de Valdemorillo y próximo a la banda neísica aflorante al S. de la citada localidad, es conocida desde hace tiempo (Muñoz del Castillo, J., 1.908 a y b) la existencia de un manantial cuyas aguas alcanzan un grado de radiactividad poco frecuente, lo que hizo que se proyectara la construcción de un establecimiento balneario (Galvez, A. y Jordana, L., 1.941) que no ha llegado a hacerse realidad.

• Dentro de las formaciones filonianas se engloban rocas de composiciones diversas que generalmente aparecen en forma de diques en el sector a que nos estamos refiriendo; son lamprófidos, pórfidos, diabasas, aplitas y pegmatitas y filones de cuarzo. Una interpretación tectónica de algunos de estos diques se da en Ubanell, A.G. (1.976).

El contacto entre este macizo cristalino y el conjunto terciario, con nítida dirección NE-SW, fue interpretado por Royo y Gómez, J. (1.930 a y 1.934) como una falla inversa. Más tarde Fúster, J.M. y De Pedro, F. (1.954) señalan que el plano de falla se sumerge hacia el NW. con un ángulo de 70° a 80°; en general todos los autores que posteriormente han trabajado en esta región

han estado de acuerdo con este planteamiento. Las Figs. 3.1. y 3.2. corresponden a ese contacto en los alrededores de Nombela, precisamente donde fué descrito por Ro-  
yo y Gómez, J. (1.934) y más tarde por Martín, C. y Her-  
nández, J.L. (1.972).



Fig.3.1.: Contacto por falla del macizo cristali-  
no del borde meridional de la Sierra de Gredos  
con el conjunto terciario. Alrededores de Nom-  
bela (Toledo).

La naturaleza de ese contacto hemos podido po-  
nerla de manifiesto algo más al SW., en los alrededores  
de Nuño Gómez (Sastre Merlín, A., 1.975 y 1.976 a) (ver  
plano 5.6.), donde la construcción de un pozo de 120 m.  
de profundidad por el procedimiento de percusión, erro-  
neamente ubicado sobre materiales graníticos pero muy  
próximo al contacto en superficie con los materiales  
terciarios, sufrió serios inconvenientes originados por  
la falta de estabilidad de las paredes a partir de los  
90 m. Tales problemas, poco frecuentes en la perforación



062



Fig.3.2.: Contacto por falla inversa : a la izquierda los materiales graníticos cabalgando a los materiales terciarios (a la derecha). Km. 11,800 de la carretera de Nombela a Pelahustan (Toledo).

de rocas duras por este procedimiento, nos los explicamos suponiendo que a la profundidad mencionada, la perforación dejó de hacerse en materiales graníticos y llegó a los materiales terciarios no consolidados, debido al contacto entre unos y otros por falla inversa.

Martín Escorza, C. (1.974) ha observado también este tipo de contacto en un pequeño afloramiento granítico localizado entre las localidades de Castillo de Bayuela y Cardiel de los Montes, a la altura del Km. 24 de la carretera que une ambos municipios.

### 3.2.2.- Los Montes de Toledo

Al igual que en el complejo septentrional, se pueden seguir diferenciando los tres conjuntos aludidos: el conjunto metamórfico, el granítico y la secuela de diques pegmatíticos, cuarcíticos y aplíticos. Quizás habría que añadir un cuarto conjunto, el de las rocas migmatíticas, de edad discutida entre Cámbrico y Precámbrico (Martín Escorza, C., Carbó, A. y Ubanell, A.G., 1.973).

El conjunto metamórfico tiene aquí más importancia que en el caso anterior, estando constituido por neises y esquistos.

La neta dirección E-W del contacto entre el conjunto de los Montes de Toledo y el conjunto sedimentario ha sido una de las observaciones que ha llevado a Alía, M. (1.972) a definir la "Banda Estructural de Toledo". Dicho contacto suele estar mecanizado y afectado por fallas NNE-SSW y NNW-SSE (Martín Escorza, C. y Hernández Enrile, J.L., 1.972).

Sobre los Montes de Toledo puede consultarse, entre otros, a Alía, M. (1.954), Aparicio, A. (1.971), Parga, J.R. y Vegas, R. (1.971) y Martín Escorza, C. (1.975).

### 3.3.- LA COBERTERA

Está constituida por materiales cretácicos, paleógenos, neógenos y cuaternarios. Tanto por su extensión superficial como por su espesor, van a ser los materiales terciarios los que trataremos más en detalle.

### 3.3.1.- Los depósitos cretácicos

Es Prado, C. (1.864) el primer geólogo que describe en detalle y atribuye al período Cretácico, una estrecha banda de materiales detríticos, margosos y calcáreos que afloran al S. de Valdemorillo y N. de Quijorna, entre los ríos Aulencia y Perales, directamente adosados al zócalo cristalino (ver plano 5.8.) y sensiblemente semejantes a los que afloran en otros lugares de la provincia de Madrid, tales como el valle del Lozoya, Torrelaguna, Guadalix y El Vellón. El citado autor hace observar que es éste uno de los afloramientos cretácicos que más a poniente aparecen en toda la Península Ibérica, distinguiendo "... dos partes, la superior de caliza, y la inferior de arenisca" (Prado, C. de, 1.864). Nosotros creemos que se pueden distinguir con claridad tres niveles : un nivel detrítico a muro, de facies "Utrillas", un tramo medio margo-arenoso rojizo y un nivel superior calcáreo; una panorámica de la formación cretácica se ofrece en la Fig.3.3.

El tramo inferior detrítico está constituido por samitas y microconglomerados, fundamentalmente de cuarzo traslúcido; la matriz es fundamentalmente caolínica. La explotación de estas arenas alcanzó cierta importancia a finales del siglo pasado y principio del actual, para beneficio del caolín, mineral que era utilizado "in situ" como materia prima por la famosa fábrica de cerámica de Valdemorillo fundada en 1.860 (Galvez, A. y Jordana, L., 1.941); actualmente la explotación de estas arenas, que también eran utilizadas como material refractario, está totalmente abandonada. Son frecuentes las coloraciones rojizas y pardo-amarillentas debido a la abundancia de Fe., generalmente en forma de sulfuros, que al oxidarse origina las mencionadas coloraciones.

Fig.3.3.: Aspecto del Cretácico al S. de Valdemorillo, buzando de 25° a 30° hacia el S.: de muro a techo : tramo detrítico, tramo margo-arenoso y tramo calcáreo. Km.37,500 de la carretera C-600 de El Escorial a Navalcarnero.

Asociadas a los niveles más inferiores de este tramo se observan a veces delgadas capas de espesor centimétrico de tonos negruzcos muy ricas en materia orgánica, que llegan a ser en algunos puntos auténticos lignitos; Prado, C. (1.864) comenta que en tiempos de Carlos III, estos niveles lignitosos habían hecho concebir "... grandes esperanzas del carbón de Manzanares, del que se había llegado a decir y a imprimir que era mejor que el de Inglaterra "porque tenía más azufre"...".

A este tramo inferior se superpone un conjunto de margas y arenas arcillosas, que contienen nivelillos milimétricos de yeso. Finaliza el Cretácico con un tramo superior calcáreo que en sus primeros niveles (intercalaciones de calizas y margas de pocos centímetros de

## 066

espesor) llega a ofrecer un aspecto de flysch, evolucionando hacia techo a calizas más masivas, microcristalinas, compactas y duras, en algún momento oolíticas; en este tramo superior hemos podido observar estructuras de deslizamiento ("slumping"), como mostramos en la Fig.3.4. En los niveles más superiores se distinguen ho-



Fig.3.4.: Estructuras de deslizamiento en el tramo calcáreo de los materiales cretácicos de Valdemorillo. Alrededores de Valdemorillo (Madrid).

rizontes fosilíferos, con fauna difícilmente clasificable de Pelecípodos (Rudistas y Mitílidos); Prado, C. (1.864) ha clasificado como *Mytilus veneuili* alguno de estos restos encontrados en esta zona y en las calizas de Cerceda; por su parte, Galvez, A. y Jordana, L., (1.941) han hallado en las proximidades de la casa del Vetago y en estos mismos horizontes, un diente de "*Lamna acuminata*", Agan, así como restos de algas y corallarios. Pequeñas canteras han explotado estas calizas pa-

ra la obtención de cal, perdurando aún numerosos hornos donde tal proceso se realizaba (Fig.3.5.).



Fig.3.5.: Pliegue anticlinal en los materiales cretáceos de Valdemorillo, con dirección ENE-WSW; en primer término un horno abandonado para la obtención de cal. Cantera de La Parrilla, casa del Vetago, Valdemorillo (Madrid).

Buenos cortes para el reconocimiento detallado de estos materiales se encuentran en la carretera C-600 de Navalcarnero a El Escorial, alrededor del Km.37,500, y en la abandonada cantera de La Parrilla, en el paraje de la casa del Vetago; una serie detallada ha sido levantada por Carbó, A., Ubanell, A.G. y Martín Escorza, C. (1.973); el espesor que estos autores sugieren es de unos 25-30 mts. Prado, C. (1.864) considera un espesor mayor, del orden de 70 mts. Estructuralmente son frecuentes los pliegues de reducidas dimensiones (Fig.3.5.) con una dirección general NE-SW (Carbó, A., Ubanell, A.G. y Martín

Escorza, C., 1.973), constituyendo esta zona un buen ejemplo, aunque de reducidas dimensiones, de una tectónica de adaptación de esta pequeña "costra" sedimentaria a la fracturación del zócalo subyacente, en tiempos de la orogenia alpina.

X X X

Aunque algo alejados de nuestra zona de trabajo, adosados al límite septentrional de los Montes de Toledo, aparecen unos sedimentos fundamentalmente detríticos, que fueron en otro momento objeto de viva polémica cuando Douvillé, H. (1.908 a) clasificó como fósiles marinos, de edad aquitaniense, algunos restos encontrados por D. Ventura Reyes y Prosper en estos mismos sedimentos aflorantes en los cerros de La Rosa, cercanos a la ciudad de Toledo; casi simultáneamente Deperet, H. (1.908) sugiere una edad estampiese a esos fósiles, pero en una nueva nota de Douvillé, H. (1.908 b) se sugiere una edad eocena. Al suponer una intrusión marina en el terciario, estos autores suponían que "... desaparecería poco a poco la antigua leyenda de grandes lagos miocenos de agua dulce en la superficie de la meseta o en su contorno" (Deperet, H., 1.908). De acuerdo con Royo y Gómez, J. (1.928 a), estas ideas exageradas no fueron en general aceptadas por los geólogos españoles, como se deduce de Mallada, L. y Dupuy de Lome, E. (1.912).

Actualmente varios autores suponen una edad cretácica a estos materiales (Alonso Luzuriaga, I., 1.970; Aparicio, A., 1.971). La potencia visible de la formación al S. de nuestra zona de estudio es de unos 20-30 m. (Martín Escorza, C., Carbó, A. y Ubanell, A.G., 1.973), aumentando de W a E : al S. de Puebla de Montal-

bán llega a alcanzar los 80 mts. (Martín Escorza, C. y Hernández Enrile, J.L., 1.972).

### 3.3.2.- Los materiales terciarios antiguos

Al N. del pueblo de Quijorna, en la misma área donde afloran los materiales cretácicos septentrionales descritos en el apartado anterior, se encuentra un conjunto de materiales detríticos principalmente y calcáreos, dispuestos concordantemente, al menos en su base, sobre la formación cretácica, aunque hacia la zona del río Perales parecen estar en contacto directamente con los materiales cristalinos de la Sierra (Planos n<sup>os</sup> 1, 2 y 5.1.). Debemos advertir que dado lo reducido del afloramiento y el suave relieve, no hemos encontrado un corte suficientemente claro para poder levantar una serie detallada de estos materiales, no existente tampoco en la bibliografía consultada como comentaremos más adelante.

En los alrededores de la Casa del Vetago, entre Quijorna y Valdemorillo, de muro a techo, la serie comienza con un tramo detrítico muy semejante a los de facies "Utrillas" : samitas y microconglomerados de cuarzo fundamentalmente, aunque pueden también identificarse clastos de feldespatos; la matriz, fundamentalmente caolínica, da al conjunto unos tonos claros, pardo-amarillentos (Figs.3.6. y 3.7.) característicos, existiendo cierta proporción de cemento calcáreo. El espesor es de unos 3 m.

Parece identificarse a continuación un paquete más arcilloso, de pocos metros de espesor, que suele



070

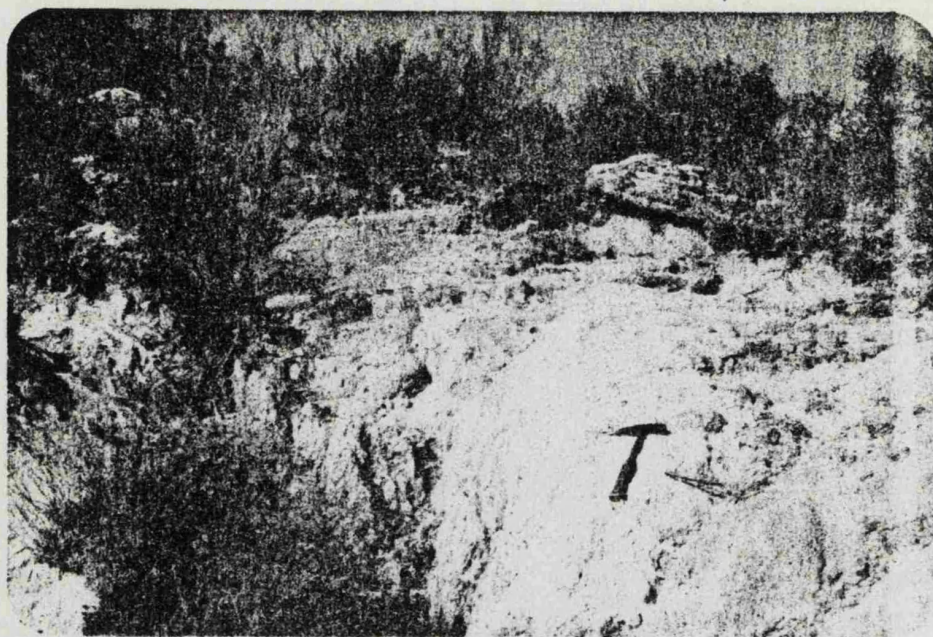


Fig. 3.6.: Tramo basal de la formación terciaria antigua (¿Oligoceno?), muy semejante a los materiales de facies "Utrillas". Casa del Metago. Valdemorillo (Madrid).



Fig. 3.7.: Detalle de la figura anterior.

distinguirse del anterior por su coloración rojiza en forma de bandas. Le sigue a éste un nuevo tramo de materiales arenosos, más groseros y menos elaborados que los basales, al igual que menos consolidados, de matriz arcillosa (Fig.3.8.), a menudo ocultos por depósitos de origen aluvial del arroyo de Quijorna, que dificultan el análisis de las características litológicas, buzamiento, etc., de este tramo de la formación; intercalados en él aparecen unos paquetes de calizas criptocristalinas (Fig.3.9.), de hasta 3 m. de espesor con frecuentes masas de sílex y sepiolita, frecuentemente en forma de concreciones (Fig.3.10), que a veces originan llamativas



Fig.3.8.: Tramo superior de la formación terciaria antigua (¿Oligoceno Inferior?); discordancia con los materiales terciarios modernos (Miocenos). Camino de Quijorna a la casa del Vetago; Valdemorillo (Madrid).

geodas ("calizas oftaníticas" , como se las denomina en Carbó, A., Ubanell, A.G. y Martín Escorza, C., 1.973).

072



Fig.3.9.: Paquete de calizas con sílex dentro del tramo detrítico superior de los materiales terciarios antiguos (¿Oligoceno Inferior?). Camino de Quijorna a casa del Velago. Valderozillo (Madrid).



Fig.3.10.: Detalle de la Figura anterior : nódulos de sílex.

Este conjunto de materiales se describe parcialmente en Prado, C. (1.864) que ya hace observar "...que aunque poco descubierto no deja de ofrecer variación respecto al de Cabanillas y Venturada ...", donde al igual que en Quijorna, el autor citado creyó identificar la base de los materiales terciarios de la cuenca de Madrid, compuestos a diferencia de aquí por conglomerados, arcillas y areniscas, considerando un espesor en ambos casos de unos 1.500 m.

Fernández Navarro, L. (1.909) piensa que las arenas caolínicas descritas por Prado en Quijorna son materiales cuaternarios siendo el "residuo de la alteración de los gneis fácilmente descomponibles del manchón inmediato"; describe sin embargo como terciarias las calizas con sílex y sepiolita, que no cita Prado, considerando análogos estos materiales a los que afloran en los cerros de Almodovar y Los Angeles. Royo y Gómez, J. (1.928 a), al ocuparse de las relaciones de los materiales miocenos con los materiales infrayacentes opina que las arenas y cantos miocenos se apoyan directamente sobre el Cretácico de Valdemorillo en discordancia angular, no aflorando materiales paleógenos, opinión que contrasta con las hipótesis defendidas por este autor sobre la existencia de materiales de esta edad en otras regiones de la Posa del Tajo. El espesor citado en la bibliografía más moderna es de unos 40 m. (Cátedra de Geodinámica Interna y División de Geología I.G.M.E., 1.971).

Cuando estos sedimentos descansan sobre los terrenos cretácicos, las relaciones entre ambos parecen ser concordantes; sin embargo, como ya hemos comentado, a veces se observa que están directamente en contacto con los neises, faltando los términos basales de la se-

## 074

rie, como se comprueba entre los Kms. 5 y 6 de la carretera de Quijorna a Navalagamella. Por otra parte, las relaciones con los materiales miocenos no están demasiado claras; hemos creído entrever la discordancia en un pequeño afloramiento al borde del camino de Quijorna a Casa del Vetago (Fig.3.8.), donde un conjunto de materiales areno-arcillosos horizontales (¿Terciarios?) cubren en discordancia angular a las arenas terciarias antiguas.

Respecto a la edad, estos materiales podrían ser de edad oligocena, por comparación con otros muy semejantes que afloran en el borde septentrional del Macizo Central, según opinión de Ubanell, A.G. (1.978); con anterioridad otros autores (Carbó, A., Ubanell, A.G. y Martín Escorza, C., 1.973) han relacionado estos materiales con un conjunto areno-arcilloso supra-yacente que aflora a lo largo de todo el curso del Alberche en su margen derecha hasta el contacto con el zócalo cristalino, presentando un bandeo gris y rojizo típico -estructura que Martín Escorza, C. (1.974) denomina N.R.G.C.-.

Aunque la cuestión de la edad de las unidades consideradas la trataremos someramente más adelante, aquí diremos que en nuestra opinión no se observa una relación suficientemente clara entre los materiales descritos hasta aquí con el conjunto areno-arcilloso con N.R.G.C., por lo que pensamos que aunque relacionados espacialmente no lo están temporalmente.

Algunos Kms. al W. de Talavera de La Reina, merced a la realización de varios sondeos de reconocimiento de los materiales terciarios, emplazados cerca del contacto con los materiales del zócalo, hemos podido poner de manifiesto que en profundidad, inmediatamente encima

de estos y sin llegar a aflorar en superficie se encuentran un conjunto de calizas y margas de tonos claros, con intercalaciones detríticas que nos hacen pensar que sean los mismos materiales que éstos de los alrededores de Quijorna; los paquetes calcáreos contienen masas de sílex negro semejantes a los que hemos descrito, que se hacen más frecuentes y de mayor tamaño -hasta formar delgadas capas- hacia el muro del conjunto. El espesor total es de unos 20 m., debiendo destacarse que hemos observado siempre de 5 a 7 m. de granito muy alterado por debajo de la citada formación, hasta alcanzar el granito sano.

Como comentaremos en capítulos siguientes, hidrogeológicamente este conjunto de materiales tan marcadamente detríticos que hemos clasificado como terciarios antiguos, tienen un cierto interés histórico, ya que identificados como la base de los materiales terciarios de la Cuenca de Madrid (Prado, C., 1.864), constituyeran el primer tramo acuífero susceptible de proporcionar caudales artesianos interesantes de aguas subterráneas a los pozos, puesto que se suponía que se sumergía hacia el centro de la cuenca donde yacía en posición subhorizontal a profundidades del orden de 300 m. (Fig.2.4.).

### 3.3.3.- Los materiales terciarios modernos

Tanto por la superficie de afloramiento como por su espesor, es este conjunto de materiales el de mayor importancia geológica e hidrogeológica en la región estudiada; materiales fundamentalmente detríticos, de carácter arcósico, donde solo en zonas de centro de cuenca -de carácter marcadamente asimétrico- tienen una ligera representación los depósitos químicos.

076

Es necesario admitir de principio tres dominios fundamentales en este conjunto, en función de las dos áreas madres distintas de sedimentos, como ya hacen observar Martín Escorza, C. y Hernández Enrile, J.L. (1.972) : en el área septentrional el dominio de los materiales procedentes del Macizo Central; en el área meridional el dominio de los procedentes del Macizo de Montes de Toledo; entre ambos un tercer dominio resultante de la indentación de los dos dominios anteriores y con el que suele coincidir un breve episodio de carácter químico que, de marcada orientación E-W, coincide con la definición de zonas deprimidas en el basamento (Hernández Fernández, M.E., 1.974).

Como ya ha sido indicado por numerosos autores, el dominio de los materiales procedentes del Macizo Central es de mayor importancia que el de los procedentes de los Montes de Toledo, condicionando por tanto al tercer dominio considerado e infiriendo el carácter asimétrico de la cuenca sedimentaria a que hacíamos mención en un párrafo anterior. Esto es más evidente en los términos finales del conjunto sedimentario que estamos considerando, en los que los materiales procedentes del Macizo Central claramente se sobreponen a los materiales de facies de transición -y aún del dominio de los Montes de Toledo- de términos anteriores del mismo conjunto.

#### 3.3.3.1.- Criterios seguidos para la diferenciación de unidades litoestratigráficas

Royo y Gómez, J. (1.928 a y b) es el primer autor que considera como miocenos, en facies detrítica -y aún paleógenos-, los materiales areno-arcillosos del



borde meridional del Sistema Central; dos años antes (Royo y Gómez, J., 1.926 a) había sugerido algo semejante con los materiales detríticos del borde septentrional de los Montes de Toledo, sugerencia que es refrendada por un nuevo trabajo suyo de 1.929 (Royo y Gómez, 1.929 c). Hasta estos momentos, con la excepción ya mencionada de Luján, F. (1.850), hubo unanimidad entre todos los autores al considerar como "diluviales" estas formaciones marginales, no considerándose la posibilidad de los cambios laterales de facies para explicar el tránsito hacia las formaciones intermedias y evaporíticas del centro de la cuenca, que, dados los restos fósiles en ellas encontrados, eran consideradas terciarias desde antaño (Prado, C., 1.864).

Desde entonces y hasta fechas muy recientes, estos materiales miocenos en facies detrítica han sido considerados, descritos y cartografiados como una única unidad, lo que refleja la dificultad que suponía la diferenciación a escala regional, de diversas unidades crono-estratigráficas -ausencia casi total de fauna-, o lito-estratigráficas -monotonía en los materiales, relieve generalmente suave y alomado que no facilita la existencia de buenos cortes naturales, etc.-. Sin embargo, apoyándose en criterios de campo (horizontabilidad de los sedimentos, cotas de formaciones, cambios de facies y discordancias erosivas) Martín Escorza, C. y Hernández Enrile, J.L. (1.972) distinguen en este mismo conjunto y en nuestra región de estudio, cuatro unidades crono-estratigráficas que de muro a techo denominaron "Formación arcósica inferior ( $M_1$ )", "Formación arcósica de fracción fina ( $M_2$ )", "Formación  $M_3$ " y "Formación arcósica superior ( $M_4$ )"; estas unidades, con algunas diferencias, son también identificadas algo más al E. (Martín Escorza, C.,



078

Carbó, A. y Ubanell, A.G., 1.973), y en ambos casos se les asigna una edad miocénica, idea ésta que es modificada por Martín Escorza, C. (1.974) al atribuir a la "Formación arcósica inferior ( $M_1$ )" una edad oligocena, criterio que es mantenido por el autor en un posterior trabajo de síntesis de la Fosa del Tajo (Martín Escorza, C., 1.976).

Nosotros nos hemos visto precisados a determinar si estas unidades definidas mediante criterios geológicos de campo mantenían su vigencia desde el punto de vista hidrogeológico, esto es, si los límites así definidos entre formaciones en afloramientos superficiales se reconocían en profundidad allí donde estaban cubiertos por materiales suprayacentes y, sobre todo, si en esas unidades sedimentarias se podían intuir estadísticamente rasgos diferenciadores frente al régimen de las aguas subterráneas en función principalmente de diferentes características litológicas. Para ello hemos analizado las casi 200 descripciones litológicas de detritus de perforaciones recopiladas (Anexo n°2) a lo largo de nuestro estudio, mediante una metodología introducida por López Vera, F. (1.975) y empleada después por Martínez Alfaro, P.E. (1.977), Rebollo, L.F. (1.977) y Villarroja, F.I. (1.977) en estudios hidrogeológicos regionales semejantes al nuestro. Algunas de las citadas descripciones litológicas las hemos deducido nosotros mismos a partir de los registros de testificación geofísica de sondeos (Anexo n°3), amablemente cedidos por el Servicio Geológico de Obras Públicas y la Junta de Energía Nuclear, organismos con los que hemos mantenido un continuo trasvase de información a lo largo de todo el estudio.

### 3.3.3.1.1.- Análisis de las descripciones litológicas de los "detritus" de perforaciones.

De una primera impresión, las 174 descripciones litológicas recopiladas a lo largo de nuestro trabajo (Anexo nº2) ofrecen un aspecto muy monótono dentro de la heterogeneidad de detalle, comparable con el que estos materiales terciarios presentan en superficie. Esto es lógico si se tiene en cuenta por un lado la naturaleza misma poco heterogénea "grosso modo" de los sedimentos y por otro que estas descripciones no proceden, salvo en alguna serie de sondeos de pequeña profundidad de carácter geotécnico, de testigos sino de detritus, es decir, de la roca molida y fragmentada elevada a superficie por el fluido de perforación o por la cuchara de limpieza, durante las operaciones de construcción de las captaciones de aguas subterráneas; detritus que ni siquiera corresponden, salvo las excepciones mencionadas, a obras emprendidas con la única finalidad de obtenerlos, sino que únicamente son utilizados -y consecuentemente descritos- por algunos constructores de pozos para tener una orientación sobre la situación que deben dar a los tramos de tubería ranurada en el pozo en construcción. Debemos pues señalar que estas descripciones no han sido hechas por nosotros sino por los propios constructores, muchas veces por el mismo sondista a pié de máquina, y como tal las reproducimos en el anexo mencionado.

Nosotros hemos seleccionado aquellas descripciones correspondientes a perforaciones construídas por el método de rotación con circulación inversa de lodos; con este sistema de perforación -muy apropiado para el tipo de materiales que nos ocupa- y dado que el fluido desciende por el anular y asciende por el varillaje de perforación, se consigue que los detritus asciendan rá-

”

080

pidamente a la superficie y se evita en gran proporción la mezcla con materiales de niveles superiores del sondeo; además el muestreo puede hacerse de forma continua. Dentro de este tipo de descripciones hemos considerado solo los procedentes de tres empresas constructoras que prestan una singular atención a la descripción de los detritus, y en los que los criterios de clasificación son muy semejantes; curiosamente estas tres empresas son de las de mayor nivel tecnológico, dentro de su campo, a escala nacional.

La escala granulométrica cualitativa de clasificación que dichas empresas utilizan para describir estos materiales terciarios, deducida por nosotros de las descripciones que hemos podido manejar, es la siguiente :

- 1 - Arenas y/o gravas limpias.
- 2 - Arena y/o grava.
- 3 - Arena y/o grava algo arcillosa.
- 4 - Arena y/o grava arcillosa.
- 5 - Arena y/o grava muy arcillosa.
- 6 - Arcilla muy arenosa con cantos.
- 7 - Arcilla muy arenosa.
- 8 - Arcilla arenosa.
- 9 - Arcilla algo arenosa.
- 10 - Arcilla.

El muestreo se hace por cada metro de perforación.

A partir de esta clasificación, hemos reagrupado los diez términos de que consta, en sólo tres, en función de las diferentes propiedades hidráulicas que se debía esperar de cada uno de ellos :

- 1 - Arenas y/o gravas con proporción variable de términos arcillosos (puntos 1 a 5 inclusive de la clasificación anterior).
- 2 - Arcillas con contenido variable en arenas o gravas (puntos 6 a 9 de la clasificación anterior).
- 3 - Arcillas sin contenido apreciable de arenas (punto 10 de la clasificación).

En algunas descripciones procedentes de perforaciones emplazadas en las facies intermedias o de transición, ha sido necesario introducir un cuarto término, el de margas, con un papel semejante al de arcillas.

Este reagrupamiento permitiría dar a estas descripciones un tratamiento estadístico empírico, que comentaremos más adelante, para tratar de diferenciar o subrayar en estos materiales terciarios diferentes unidades litológicas a la escala de nuestra región de estudio.

Las restantes descripciones litológicas -la mayoría de las recopiladas- generalmente proceden de perforaciones realizadas a percusión. Por el sistema de obtención de los detritus, por el carácter episódico con que son elevados a la superficie y por la baja calidad de su descripción, estas columnas litológicas no tienen el mismo valor que las anteriormente comentadas. Sin embargo nos han sido muy útiles para tener una referencia, generalmente próxima, con la que comparar la interpretación de los registros geofísicos, como comentaremos en el próximo apartado. También nos han sido útiles para tratar de seguir el contacto entre las unidades litológicas definidas, allí donde no disponíamos de columnas

litológicas procedentes de pozos contruídos por el procedimiento de rotación con circulación inversa de lodos.

#### 3.3.3.1.2.- Interpretación de registros geofísicos

Los registros de testificación geofísica de sondeos que hemos empleado han sido los ya clásicos de potencial espontáneo (SP), resistividad (RS) y radiación gamma-natural ( $\gamma$ ) utilizados conjuntamente (ver Anexo n°3), aunque en dos ocasiones (puntos 558-2-3 y 558-7-22) por disponer solo del último de los citados -el más fácil de realizar técnicamente- hemos trabajado únicamente con esos datos, siendo los resultados coherentes con las columnas litológicas de sondeos próximos. Debemos decir que en todo momento hemos tenido la precaución de comparar los registros con columnas litológicas reales obtenidas en los alrededores.

En cualquier caso, con la utilización de estos registros no pretendíamos obtener una descripción litológica detallada de los materiales atravesados por la sonda sino únicamente definir aquellos tramos donde la fracción gruesa (conglomerados y arenas) predominara sobre la fracción fina (limos y arcillas), para darles un tratamiento estadístico posterior, en todo semejante a los datos obtenidos a partir de descripciones litológicas de rípios de pozos y sondeos.

Como se sabe, el potencial espontáneo se origina fundamentalmente en las células electroquímicas determinadas por el contacto entre las arcillas, el material permeable y el sondeo (Davis, S.N. y De Wiest, R., 1.971); el potencial se admite nulo frente a gruesas capas de arcillas, lo que permite trazar la llamada línea

base de las arcillas : las desviaciones de esa línea -a un lado u otro en función de las relaciones de salinidad entre el agua de la formación y el filtrado de lodo- pueden ser interpretadas como zonas más permeables, que en nuestro caso deben responder a tramos más arenosos, siendo sus límites los puntos de inflexión de la citada curva.

Los registros de resistividad determinan el valor de esta propiedad de las diversas formaciones atravesadas por el sondeo; en nuestro caso todos los registros se han obtenido con un dispositivo monoelectrónico, que permite distinguir con claridad los tramos más arenosos (mayor resistividad) de los más arcillosos, de menor resistividad debido a que los iones que se agrupan en la superficie de los minerales de la arcilla aumentan el carácter conductor del sedimento. La interpretación del registro es de tipo cualitativo ya que con el dispositivo monoelectrónico, los valores continuos de resistividad obtenidos a lo largo del registro son sólo relativos (García Yague, A., en Custodio, E. y Llamas, M.R., 1.976).

Para la obtención de registros de radiación gamma-natural no es preciso, como en los anteriores, que no esté entubada la perforación, circunstancia que hace que, dado el carácter no consolidado de los materiales terciarios de nuestra zona, no sea fácil la obtención de aquellos y sea este tipo de registro el único que corrientemente se pueda obtener de los sondeos ante la perentoria necesidad de efectuar cuanto antes las maniobras de entubación para evitar el derrumbamiento de las paredes. La interpretación de las diagraffas es cualitativa, observándose los máximos de radiación gamma frente a los

084

tramos arcillosos, por la presencia de  $^{40}\text{K}$  en los minerales de arcilla. En nuestro caso particular, es preciso tener en cuenta que en los tramos más detríticos son abundantes los clastos de feldespato, con más o menos riqueza en potasio, hecho éste que constituye una dificultad suplementaria en la interpretación.

Considerando conjuntamente estos tres tipos de diagraffas es como se han obtenido las columnas litológicas esquemáticas del anexo n°3, en las que al igual que con las procedentes de la descripción litológica de los detritus de la perforación de pozos y sondeos, solo se contemplan tres términos : arenas y/o gravas más o menos arcillosas, arcillas más o menos arenosas y arcillas : como puede verse, solo cuando las tres curvas apuntaban en el mismo sentido se ha considerado definido el tramo del sondeo correspondiente. En algún caso, solo hemos trabajado con la diagraffa de radiación gamma-natural, por no disponer de las otras dos; en esas ocasiones, como antes decíamos, se ha procurado controlar de modo especial el registro, por comparación con descripciones litológicas de los detritus de perforaciones próximas.

Para finalizar este epígrafe diremos que un análisis de la utilidad de los registros geofísicos de pozos y sondeos, particularmente referido a los materiales de la Cuenca de Madrid, ha sido recientemente realizado por González, R. (1.977).

#### 3.3.3.1.3.- Tratamiento estadístico de los datos.

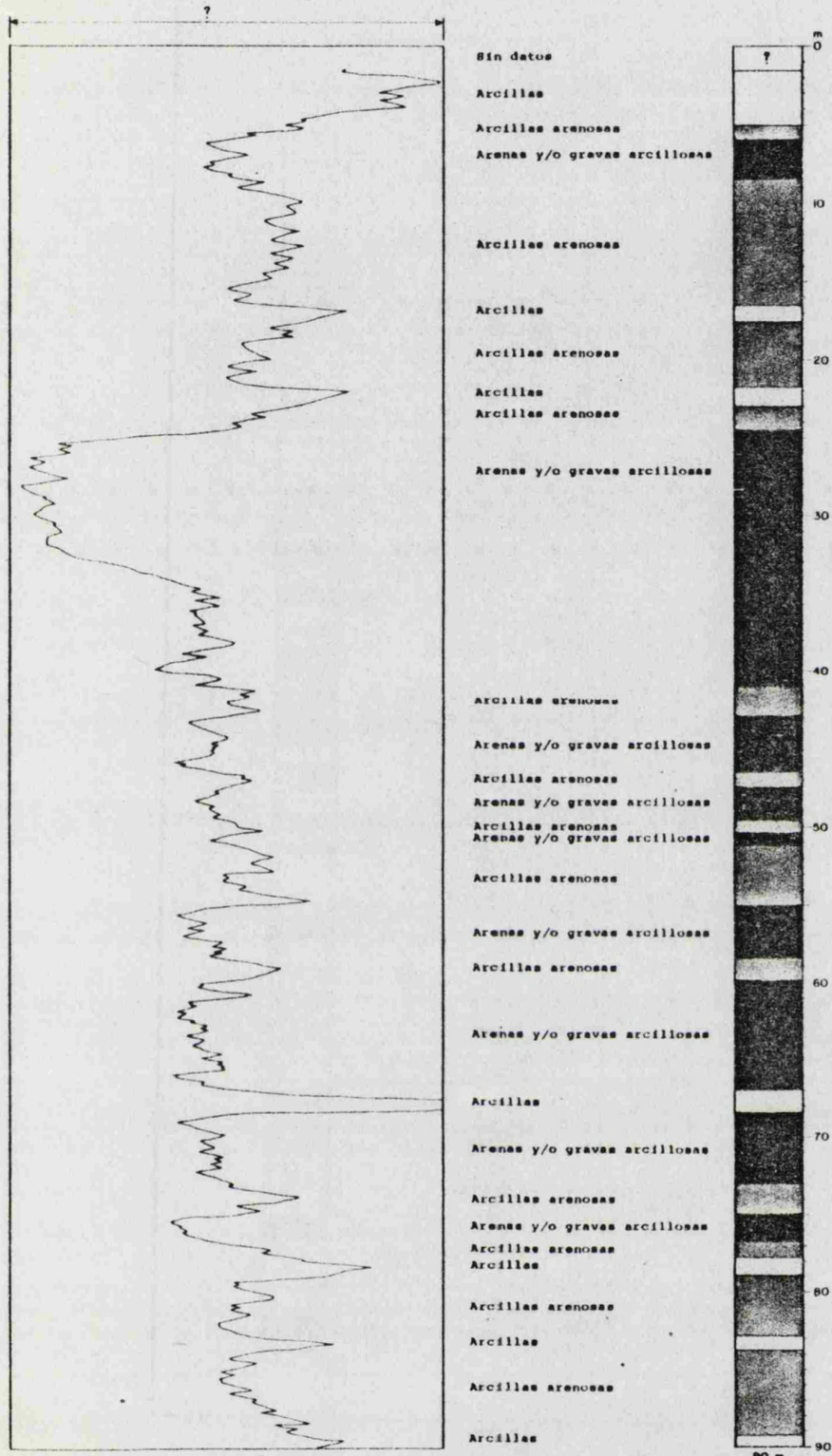
A partir de las columnas litológicas esquemáticas obtenidas ya de descripciones litológicas de detritus de perforación, ya de la interpretación de re-

ANEXO 3-1

## POZO 558-2-3

RADIACION  $\gamma$   
( $\gamma$ -Ray)

LITOLOGIA DEDUCIDA



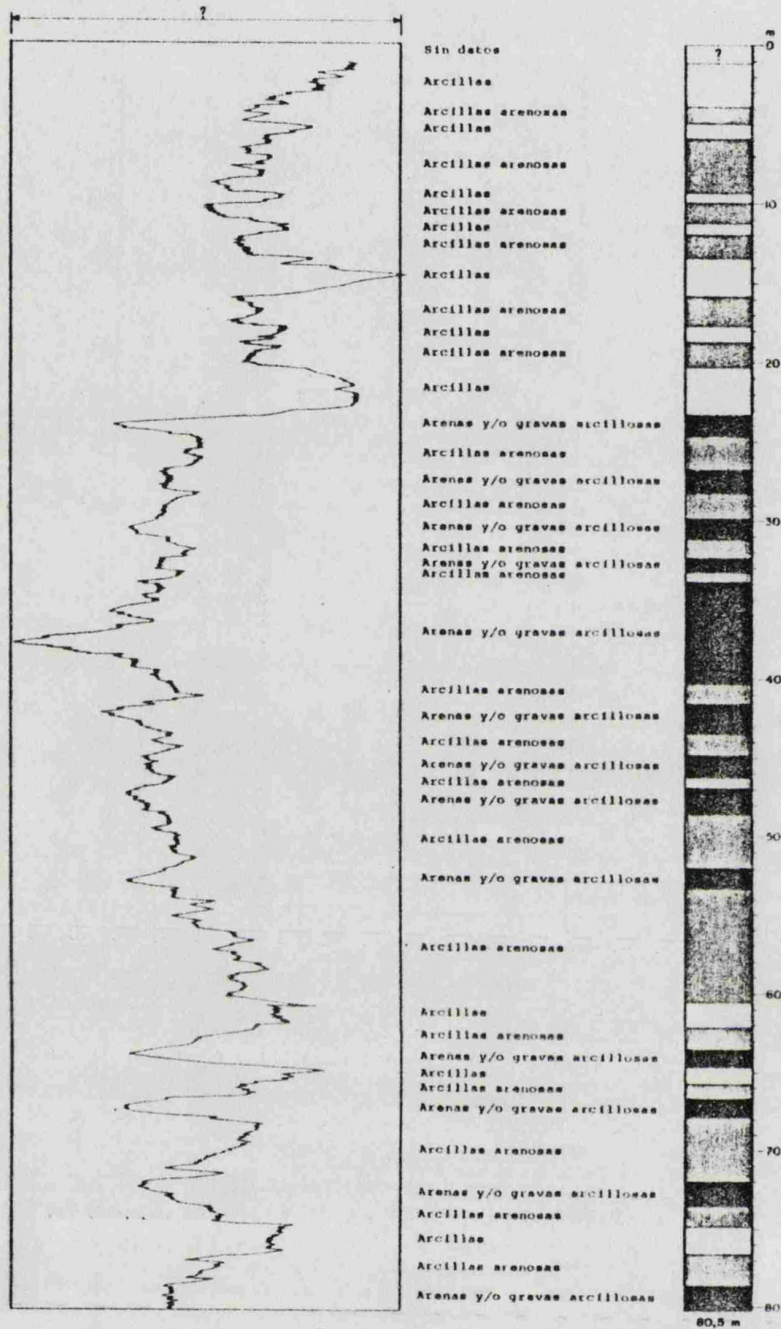


ANEXO 3-2

POZO 558-7-22

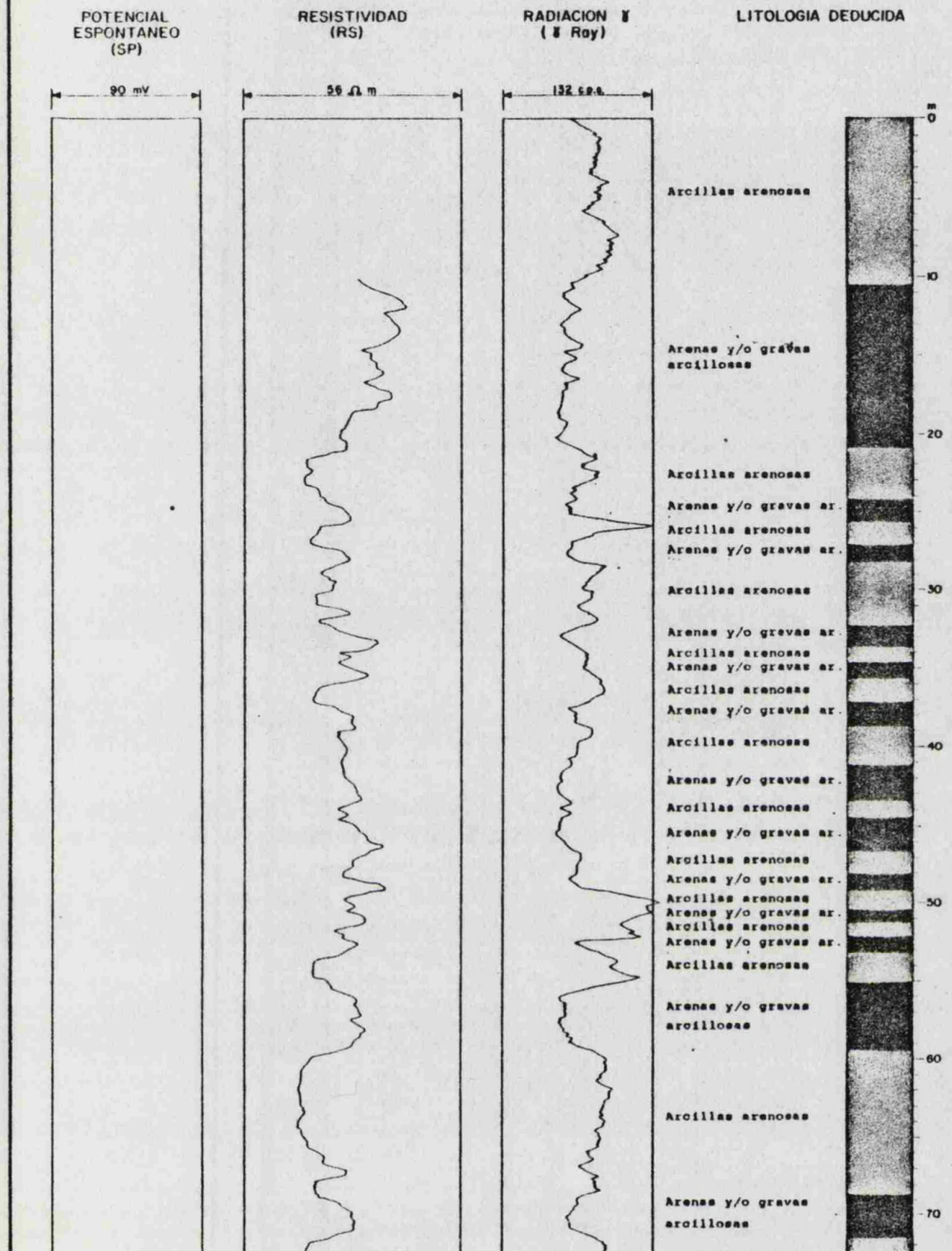
RADIACION  $\gamma$   
( $\gamma$ -Ray)

LITOLOGIA DEDUCIDA

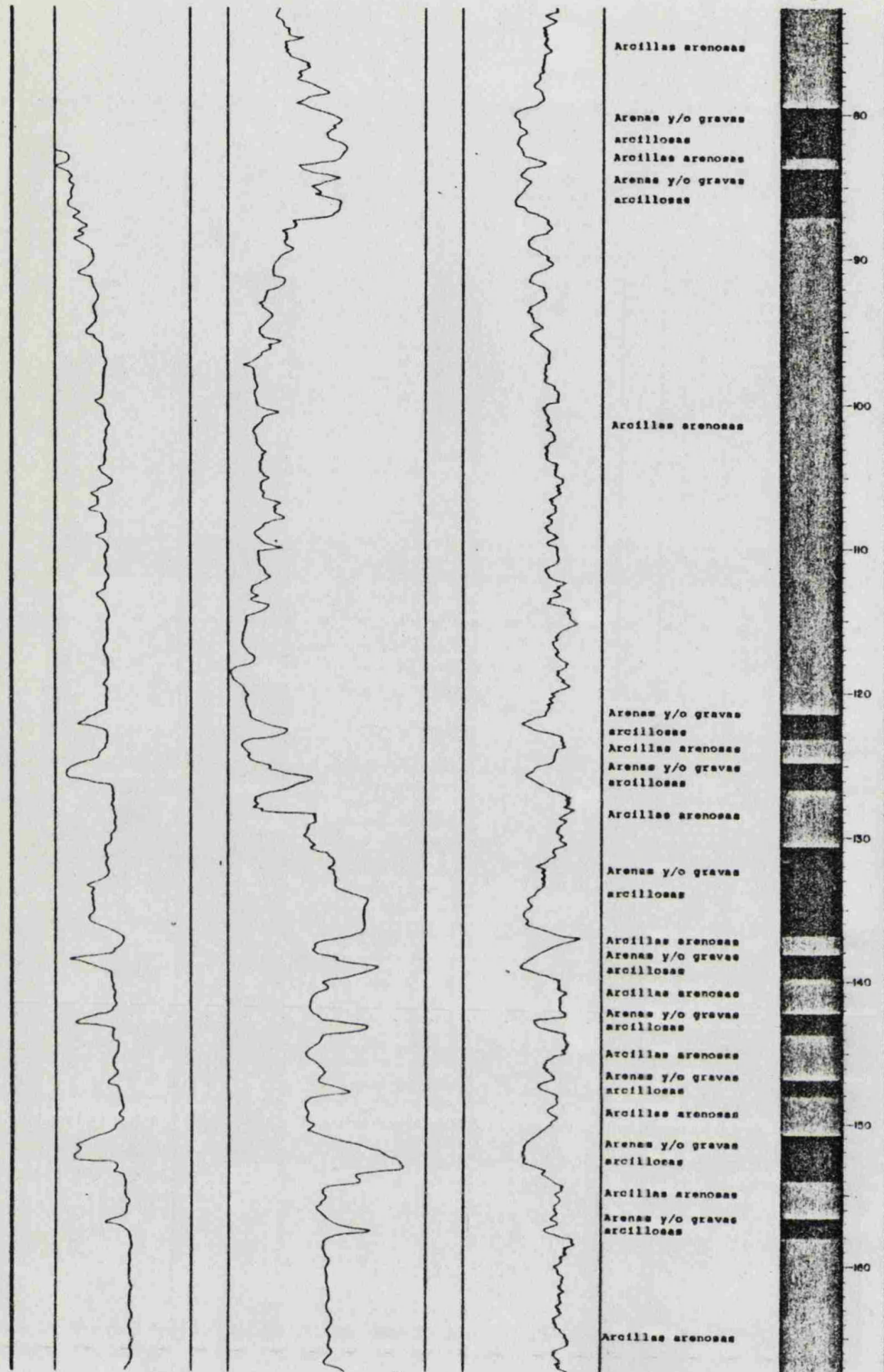


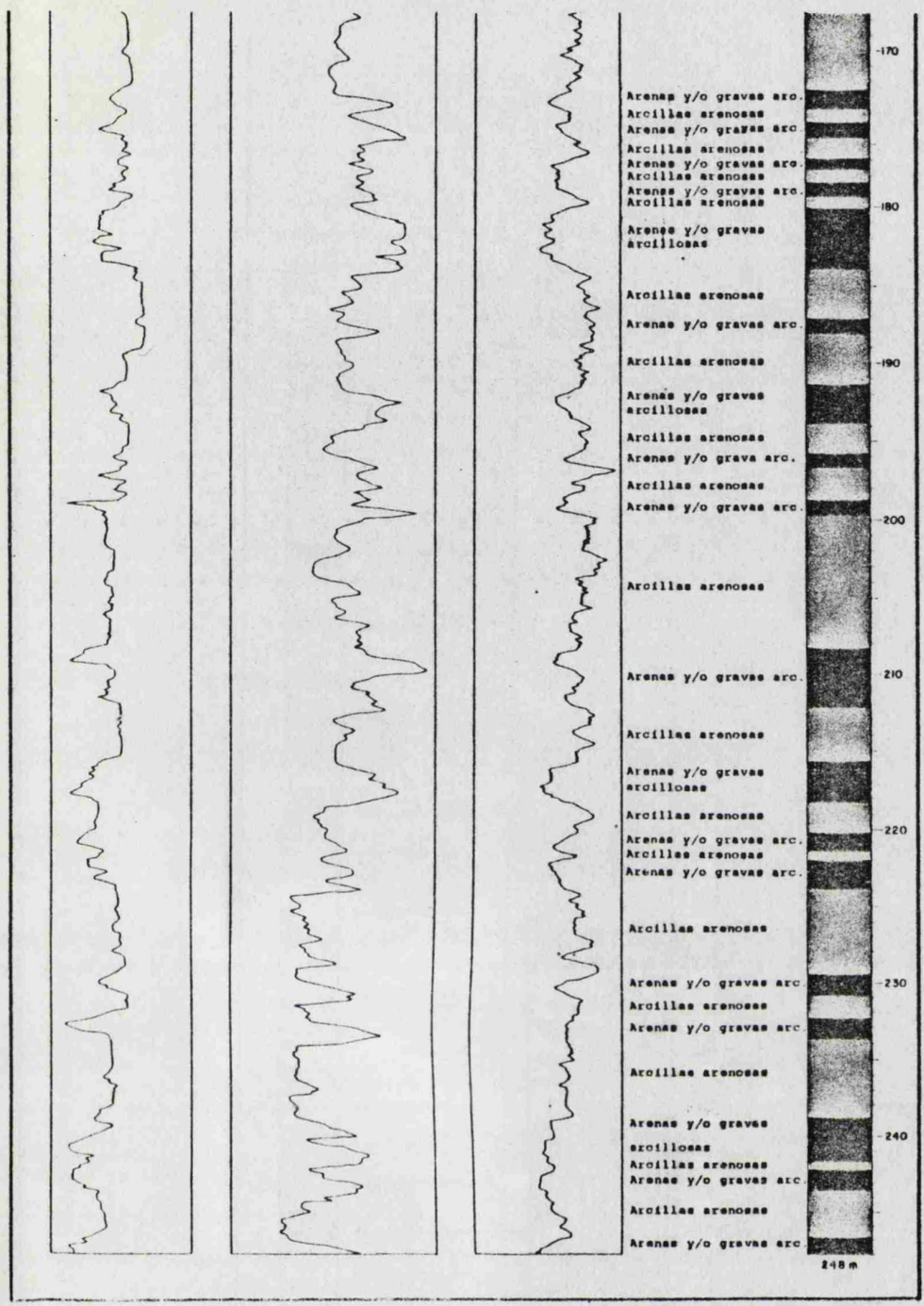
ANEXO 3-3

## SONDEO 603-3-7











POTENCIAL  
ESPONTANEO  
(SP)

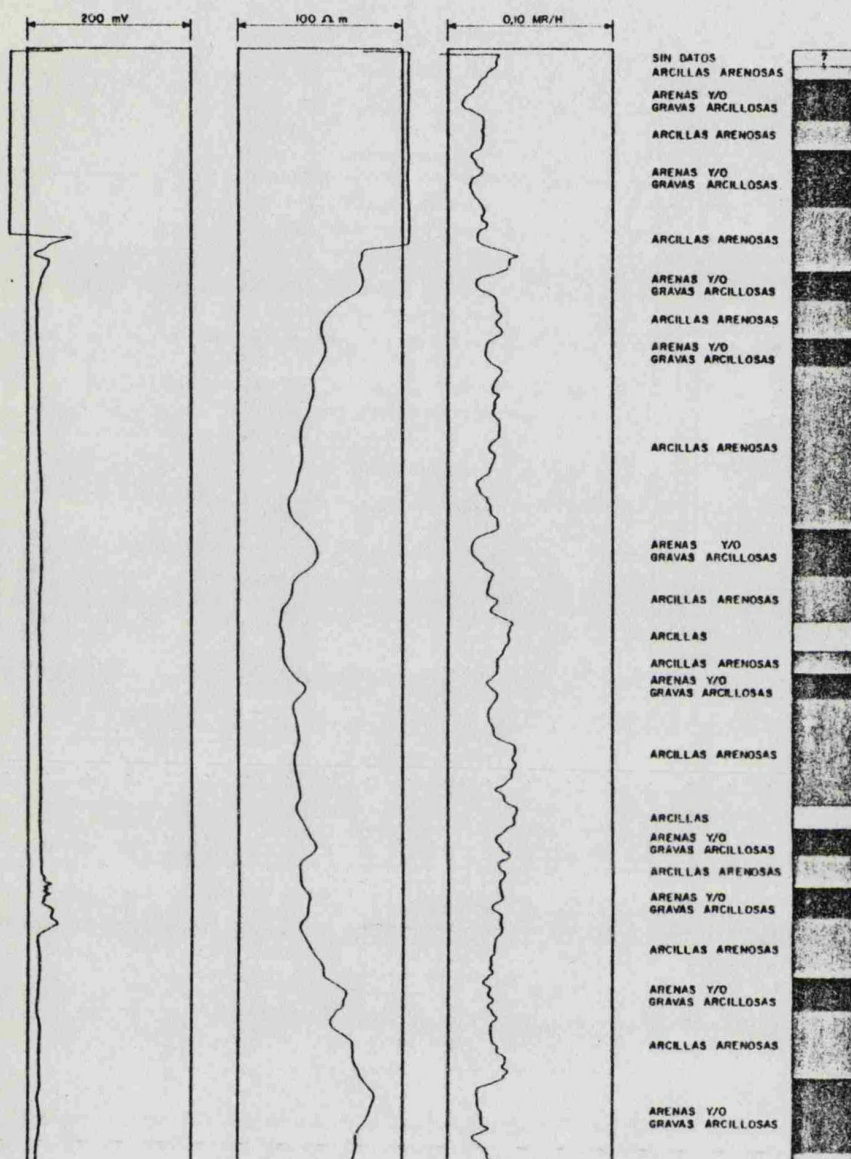
200 mV

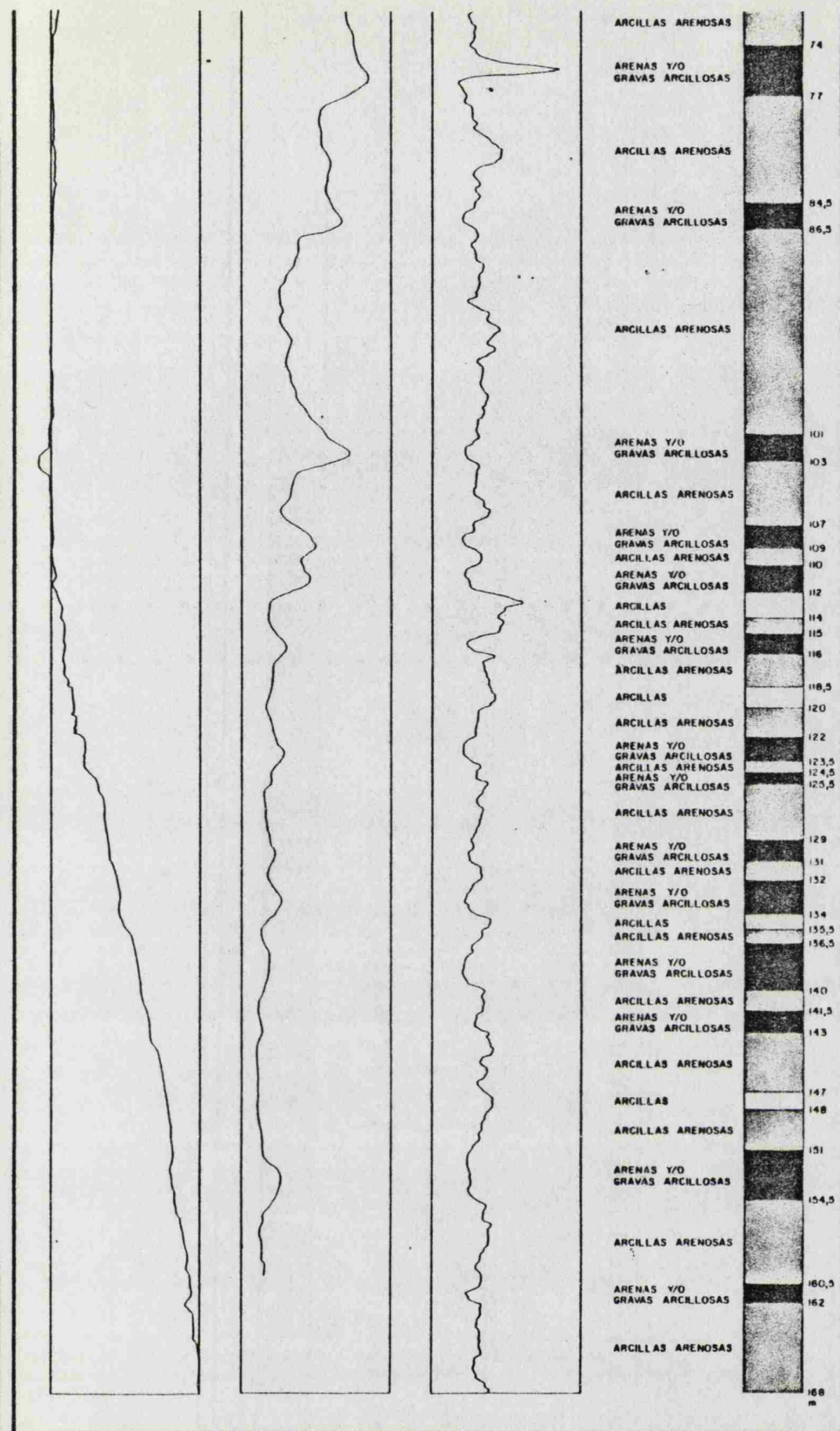
RESISTIVIDAD  
(RS)100  $\mu\text{m}$ 

RADIACION ☒  
(☒ - Ray)

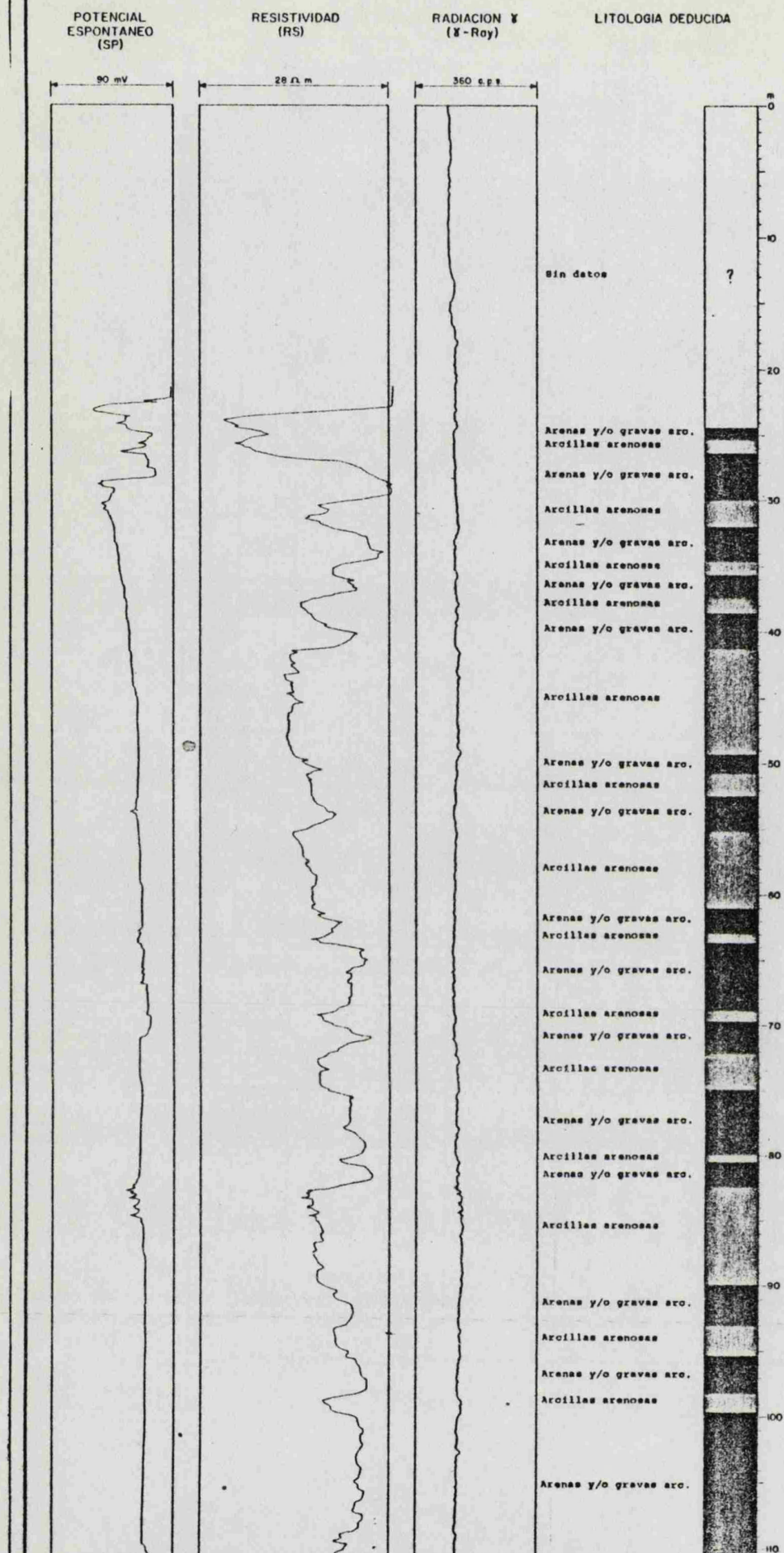
0.10 MR/H

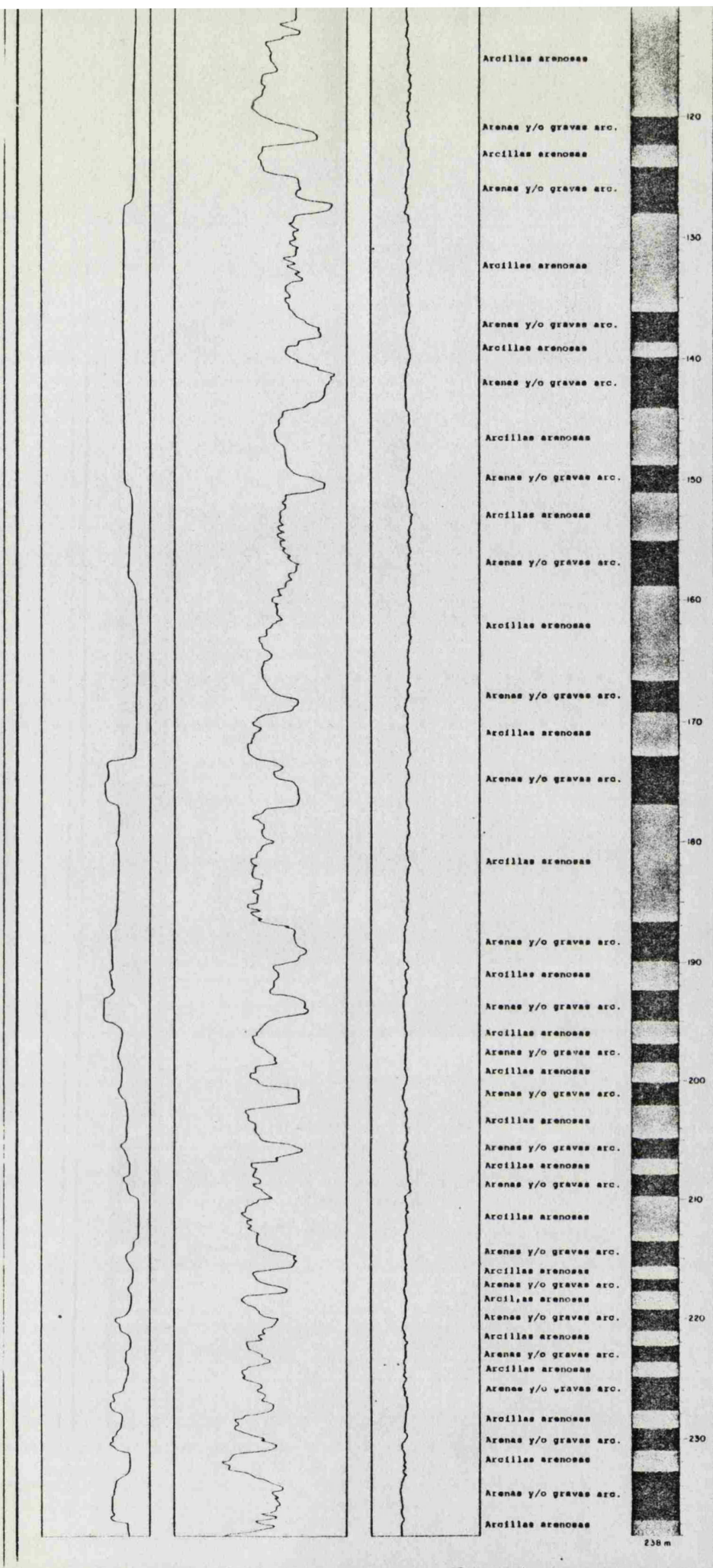
LITOLOGIA DEDUCIDA





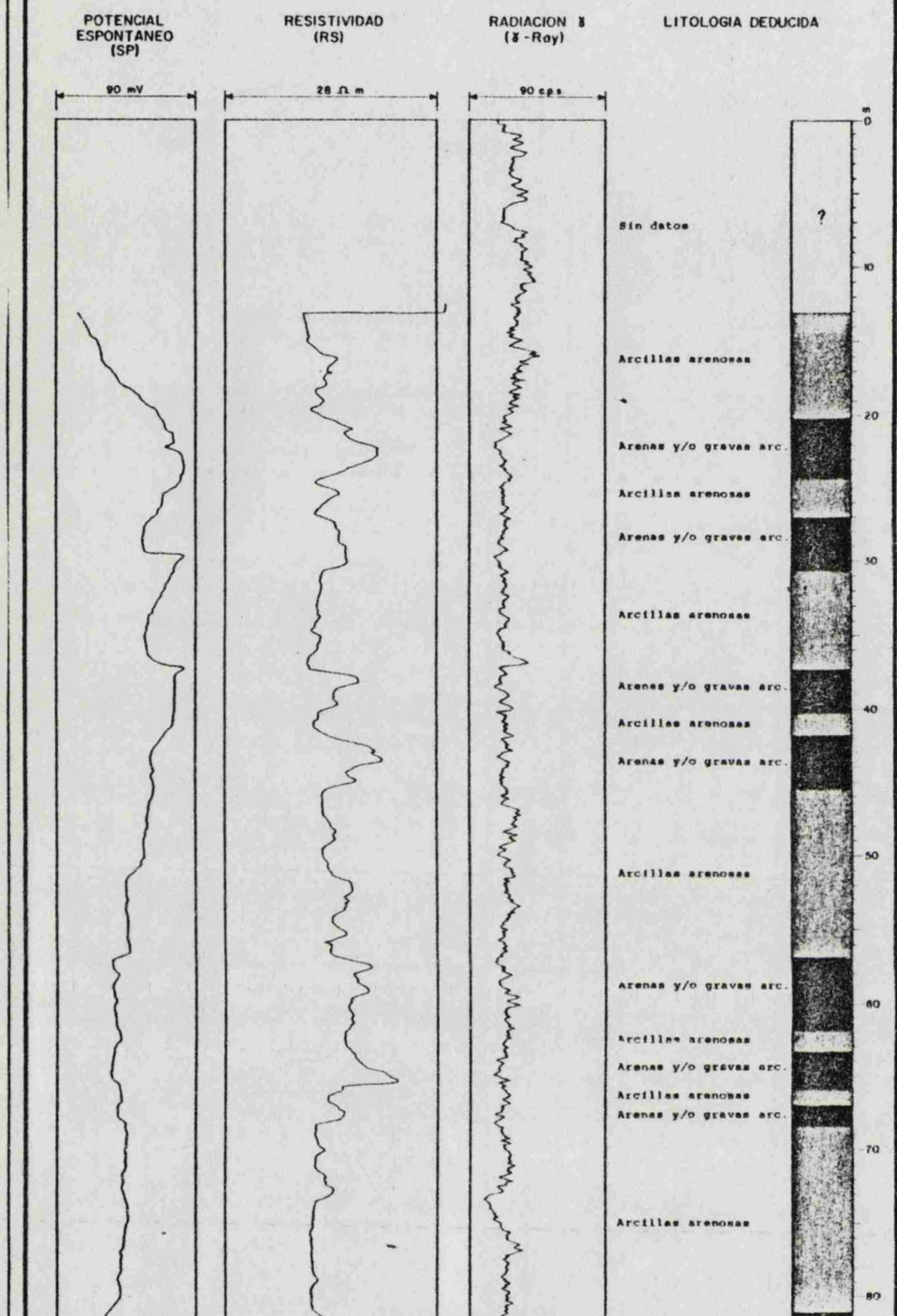


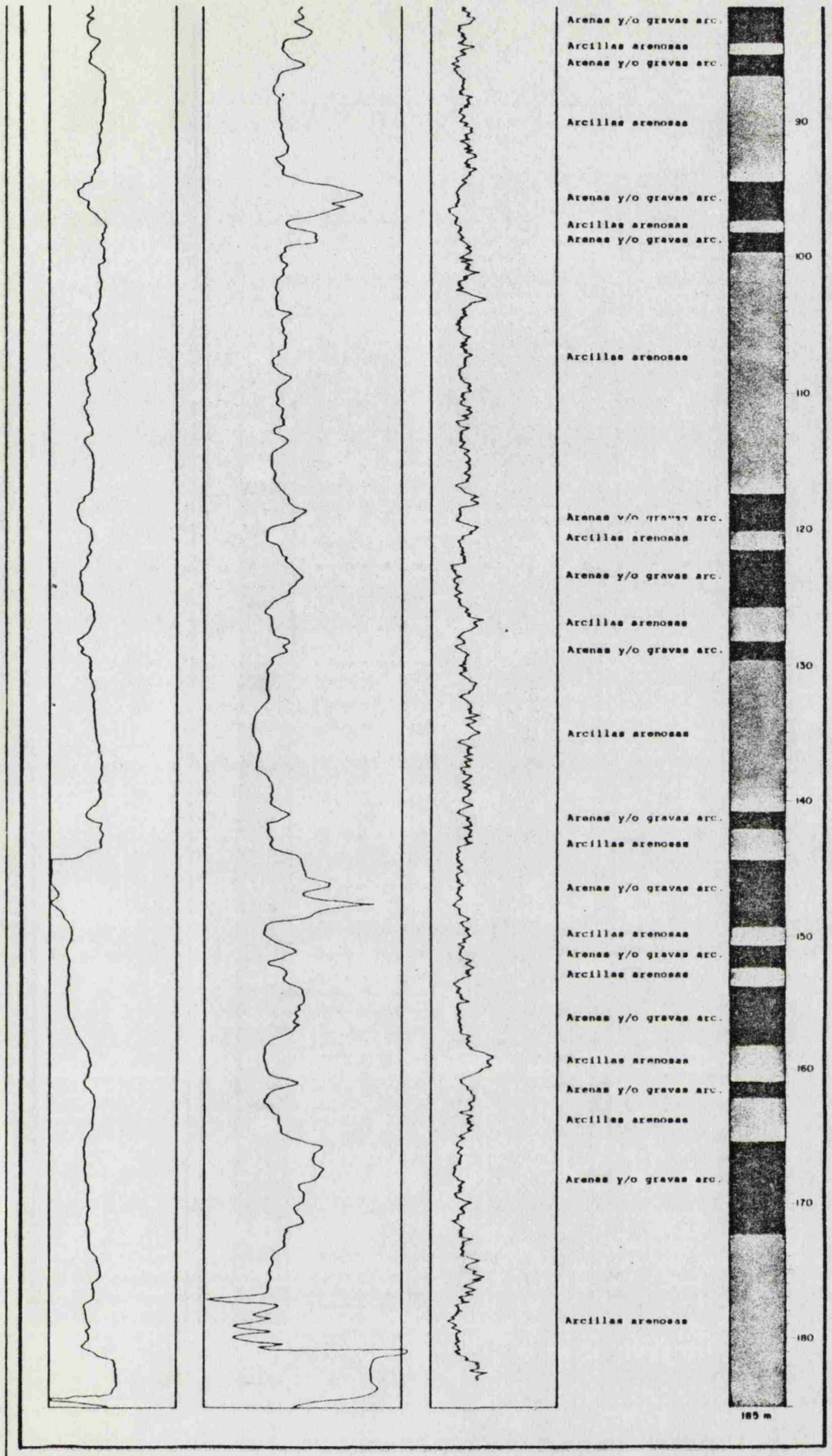






SONDEO 628-2-4

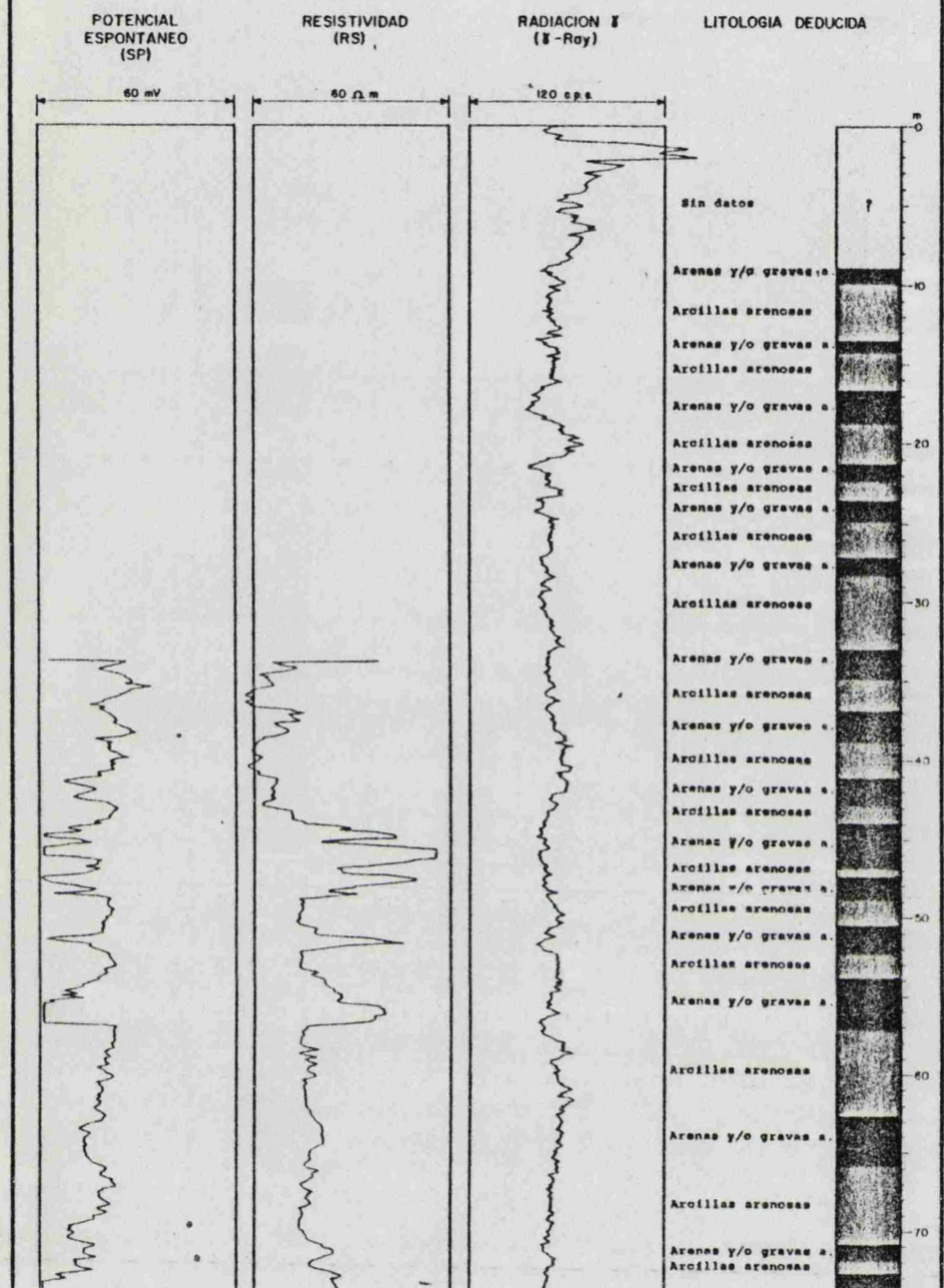


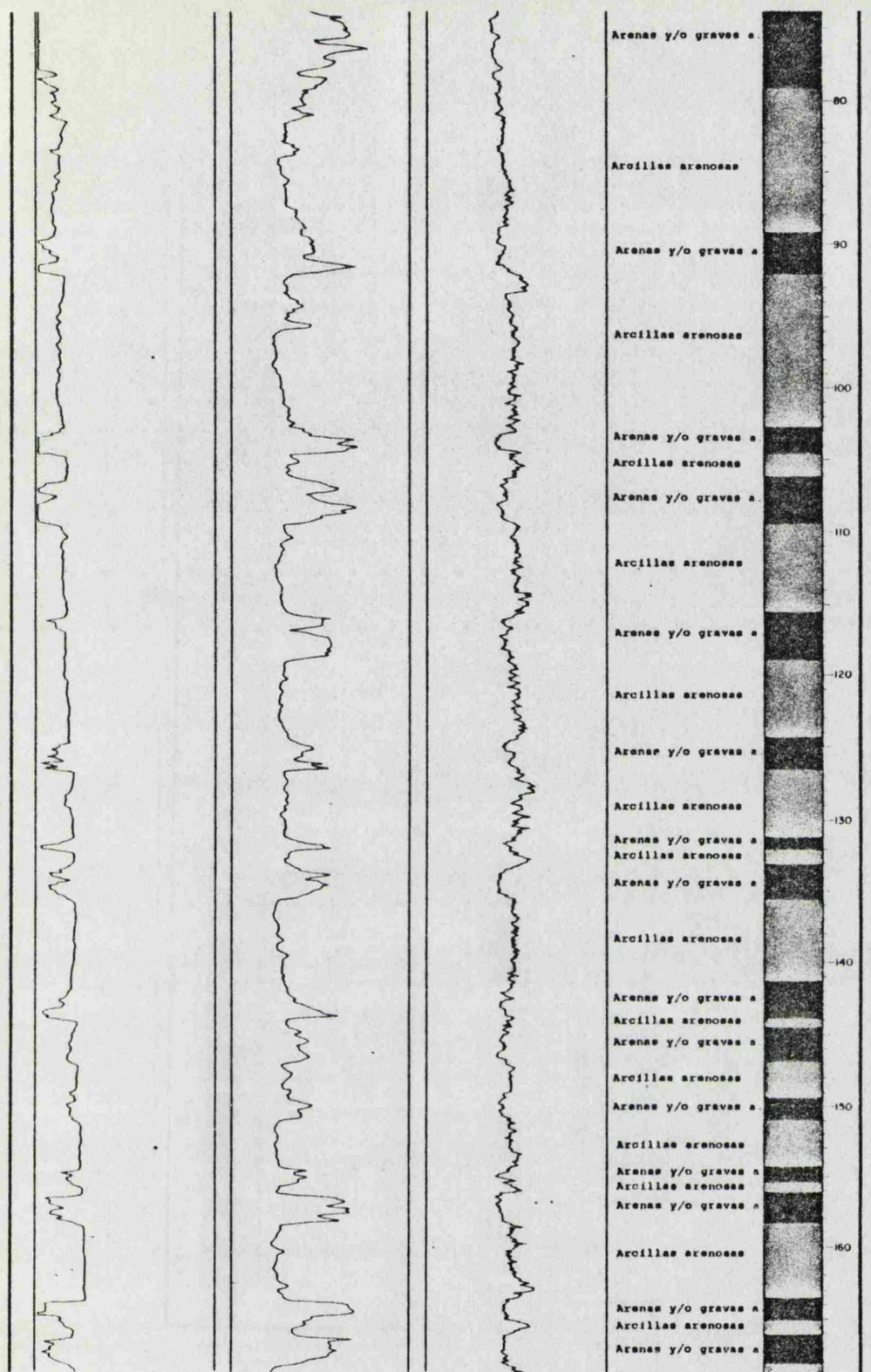




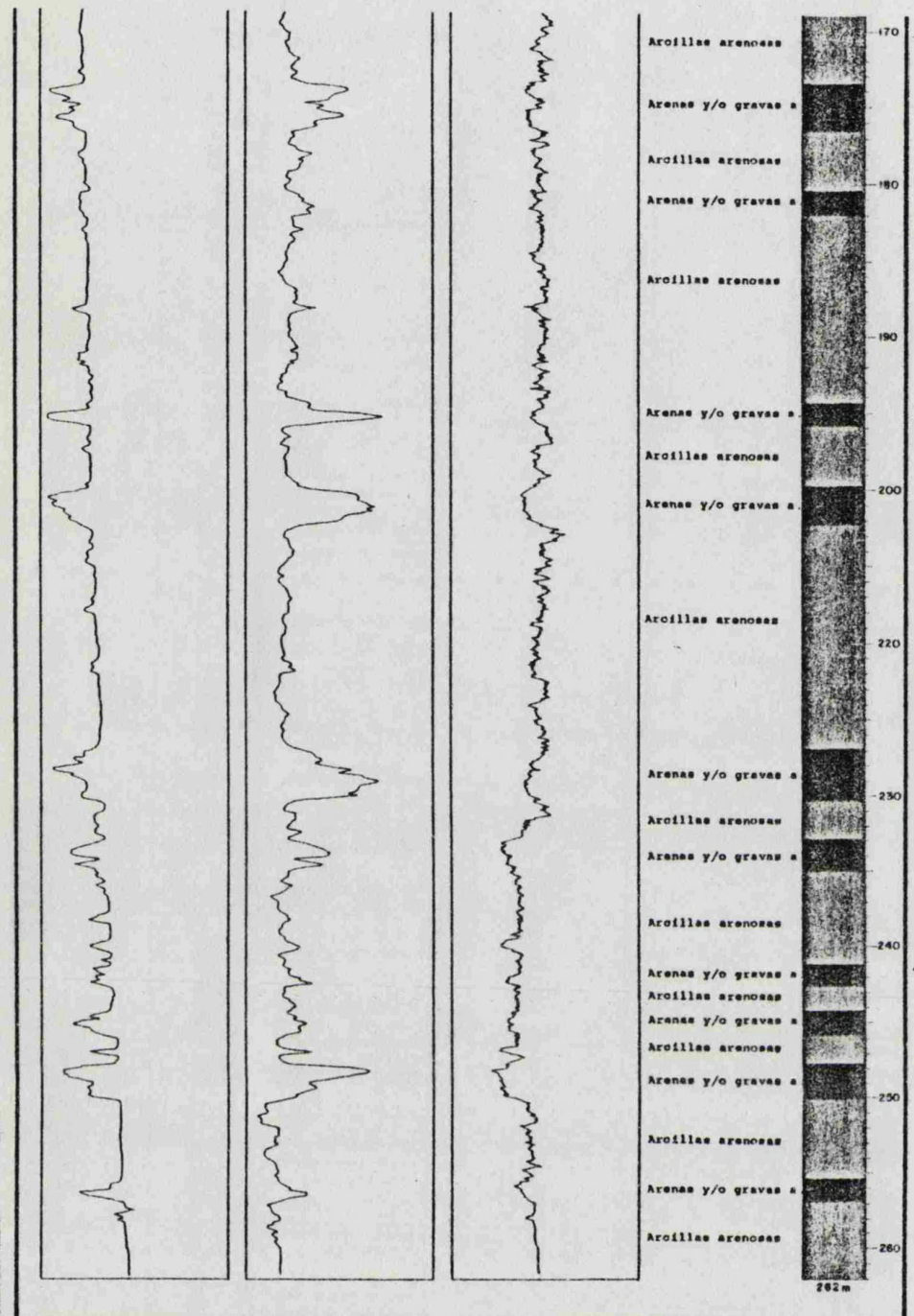
ANEXO 3-7

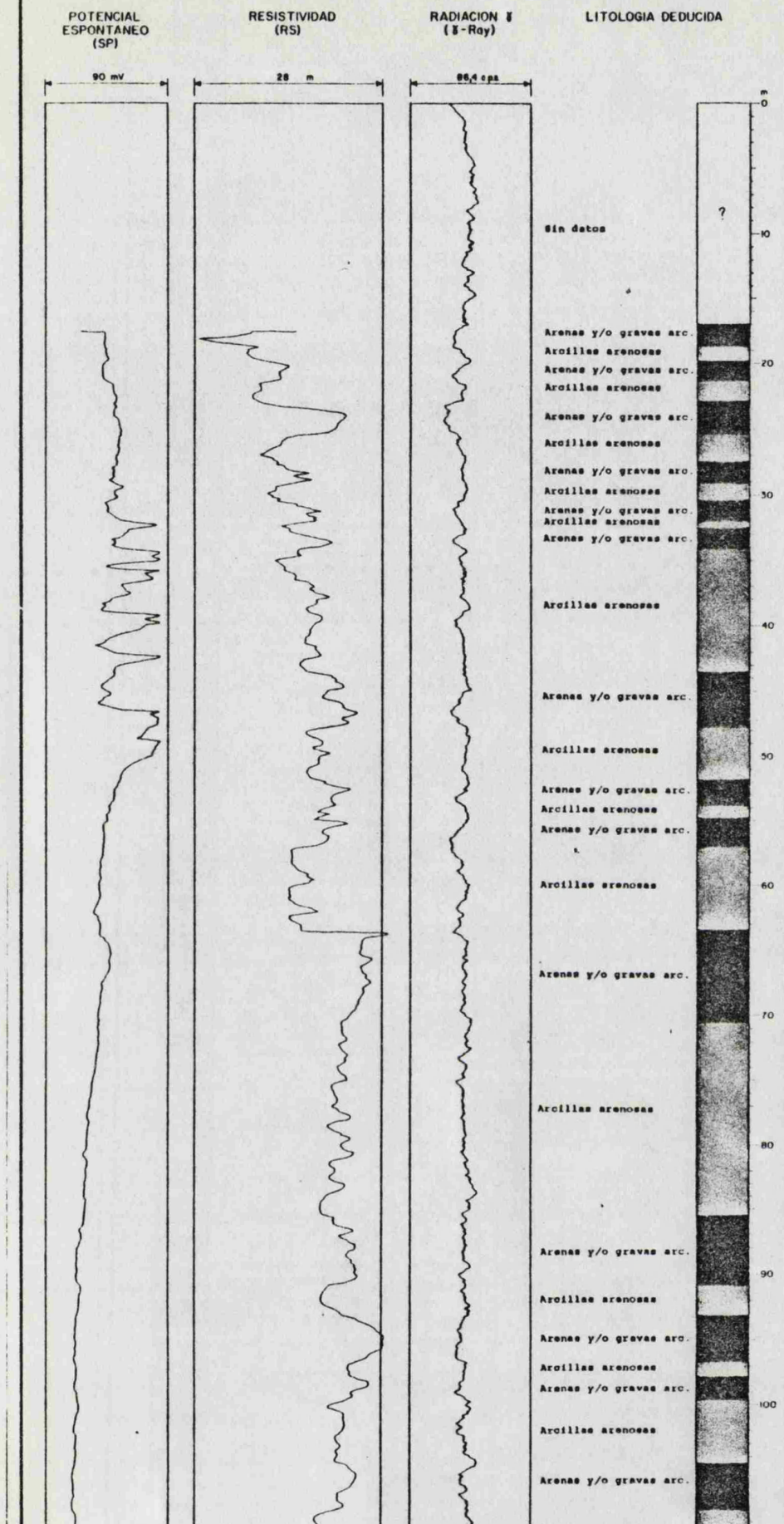
## SONDEO 628-4-4





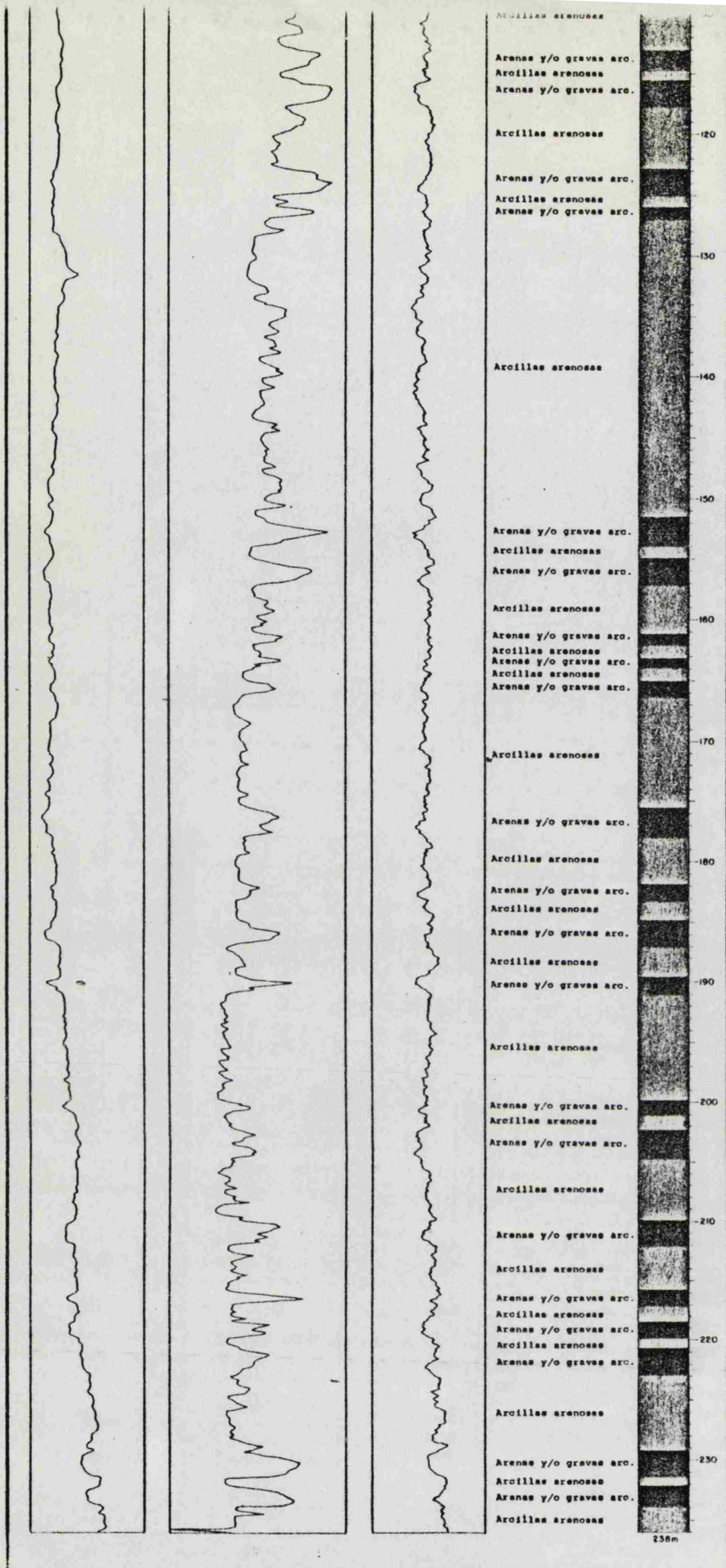








00



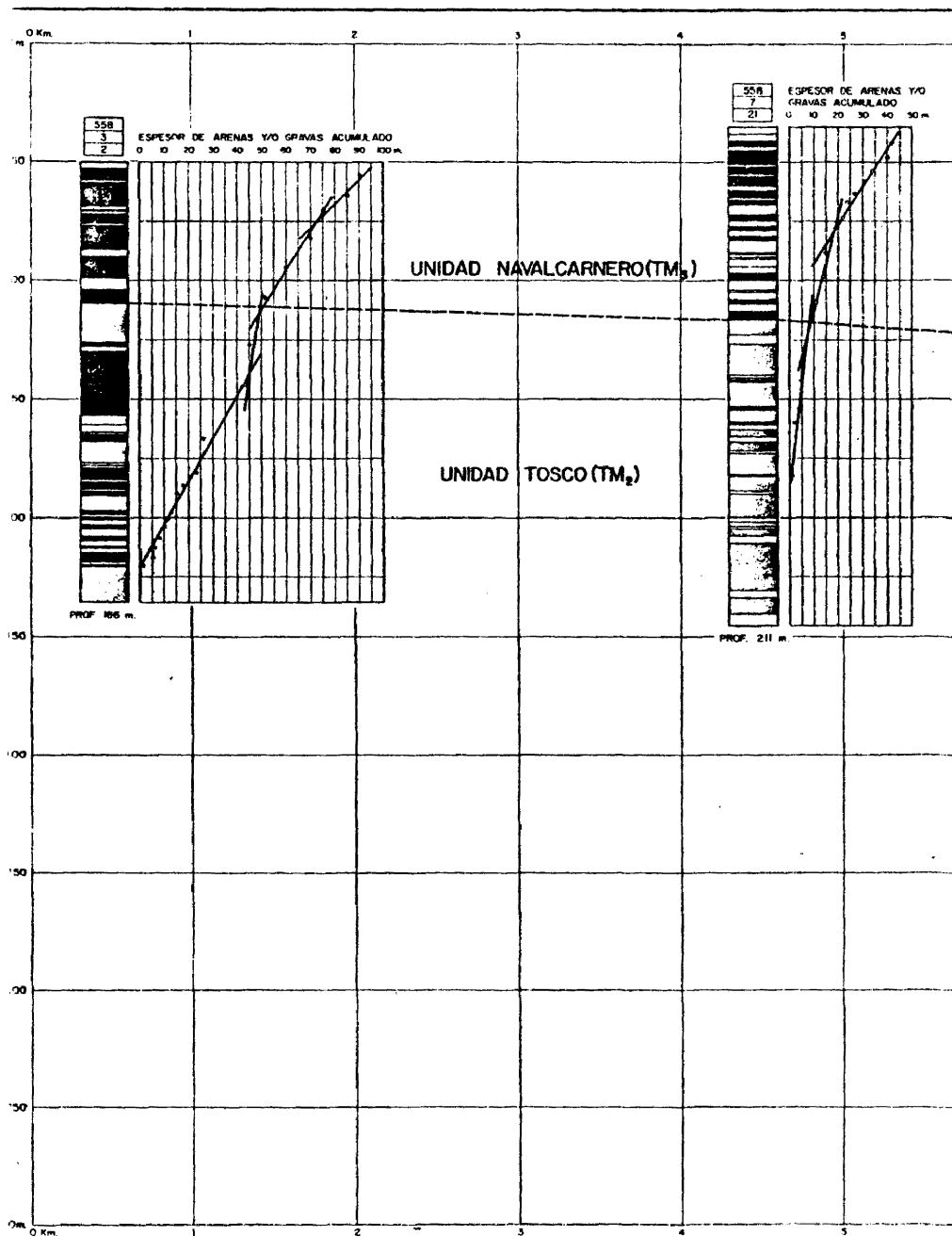
## 101

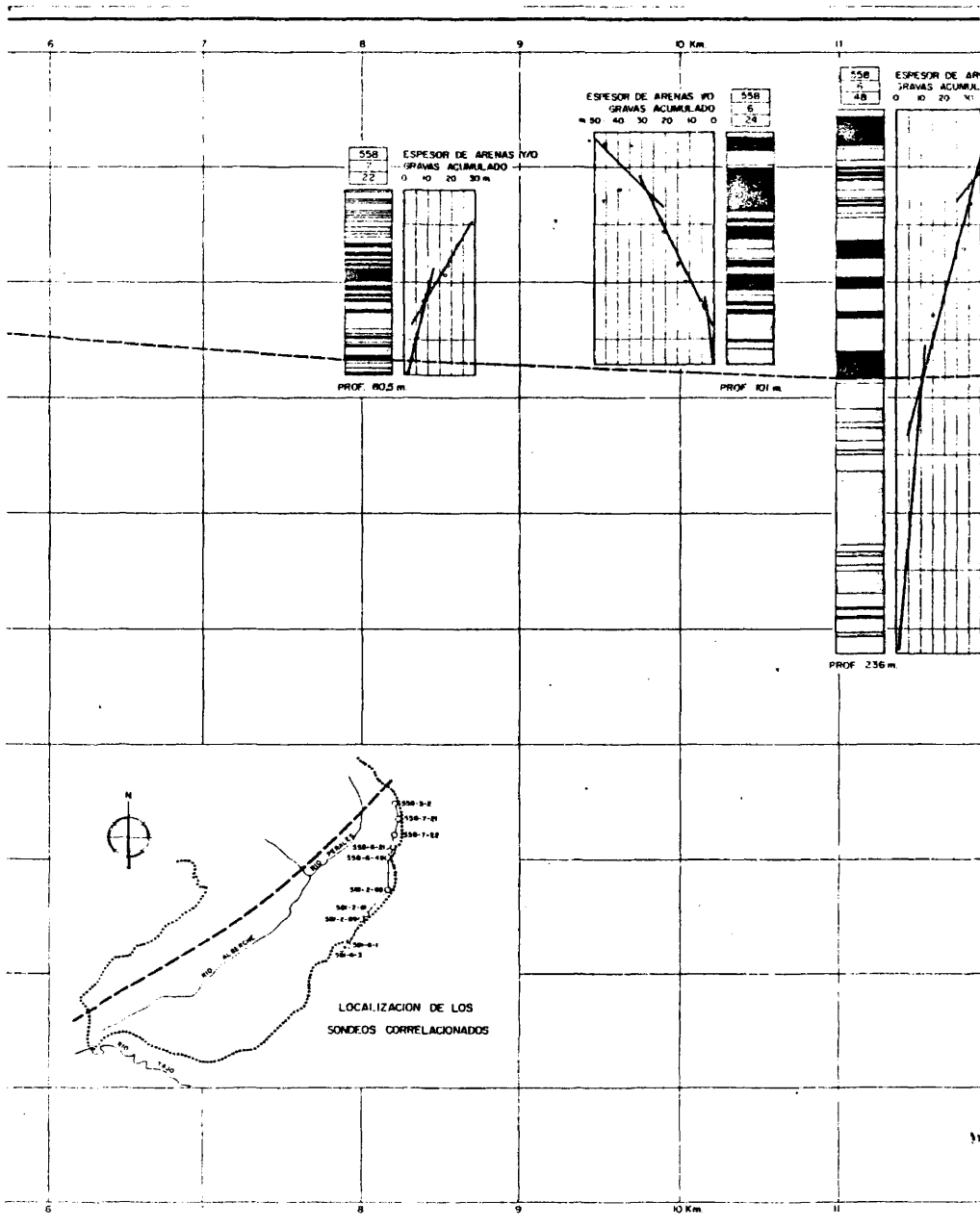
gistros geofísicos, hemos representado en un sistema de coordenadas aritméticas a cada una de estas columnas, en el cual en ordenadas se representa la longitud del sondeo con sus correspondientes tramos del tipo 1, 2 ó 3, y en abscisas el espesor acumulado de los tramos fundamentalmente arenosos y/o conglomeráticos -el término 1 de nuestra clasificación resumida- : empezando por el final de la columna, cada tramo arenoso estará representado por un punto en función del espesor acumulado de los tramos arenosos inferiores, punto que estará referido al centro de gravedad de cada tramo.

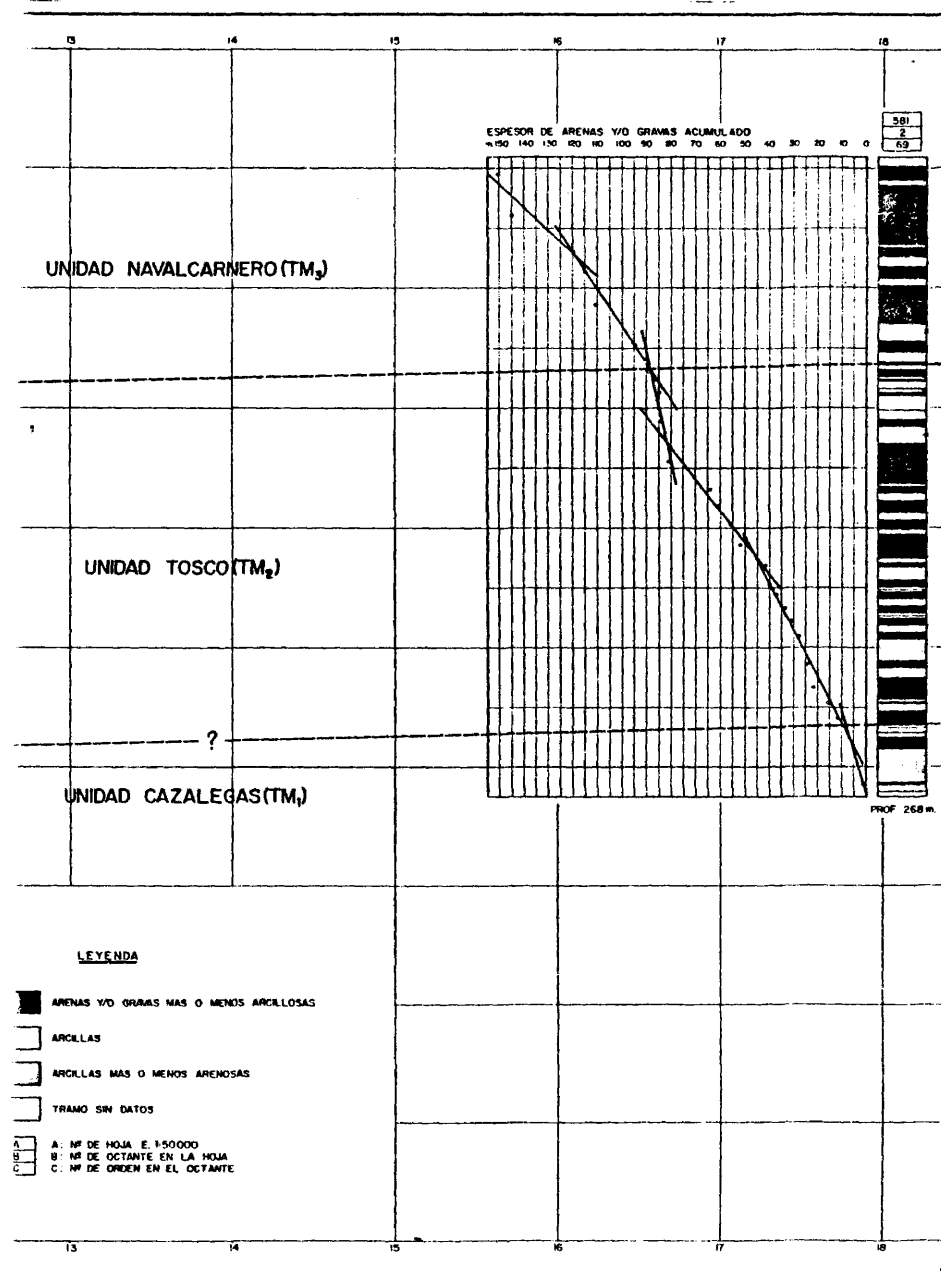
Representados de esta forma todos los tramos del tipo 1 de cada columna, se consigue un conjunto de puntos más o menos alineados, con diferente pendiente en función del contenido arenoso. Las columnas litológicas de mayor contenido en arenas estarán representadas por un conjunto de puntos cuya recta de ajuste tendrá una pendiente menor que la recta de ajuste del conjunto de puntos procedente de la representación de una columna litológica de mayor contenido en arcillas, de mayor tendencia hacia la vertical. Por lo mismo, cuando una misma columna interesa dos o más unidades con diferente contenido en arenas, la recta de ajuste sufrirá cambios en la pendiente aproximadamente frente al contacto entre dichas unidades, aumentando o disminuyendo según que respectivamente, disminuya o aumente el contenido arenoso.

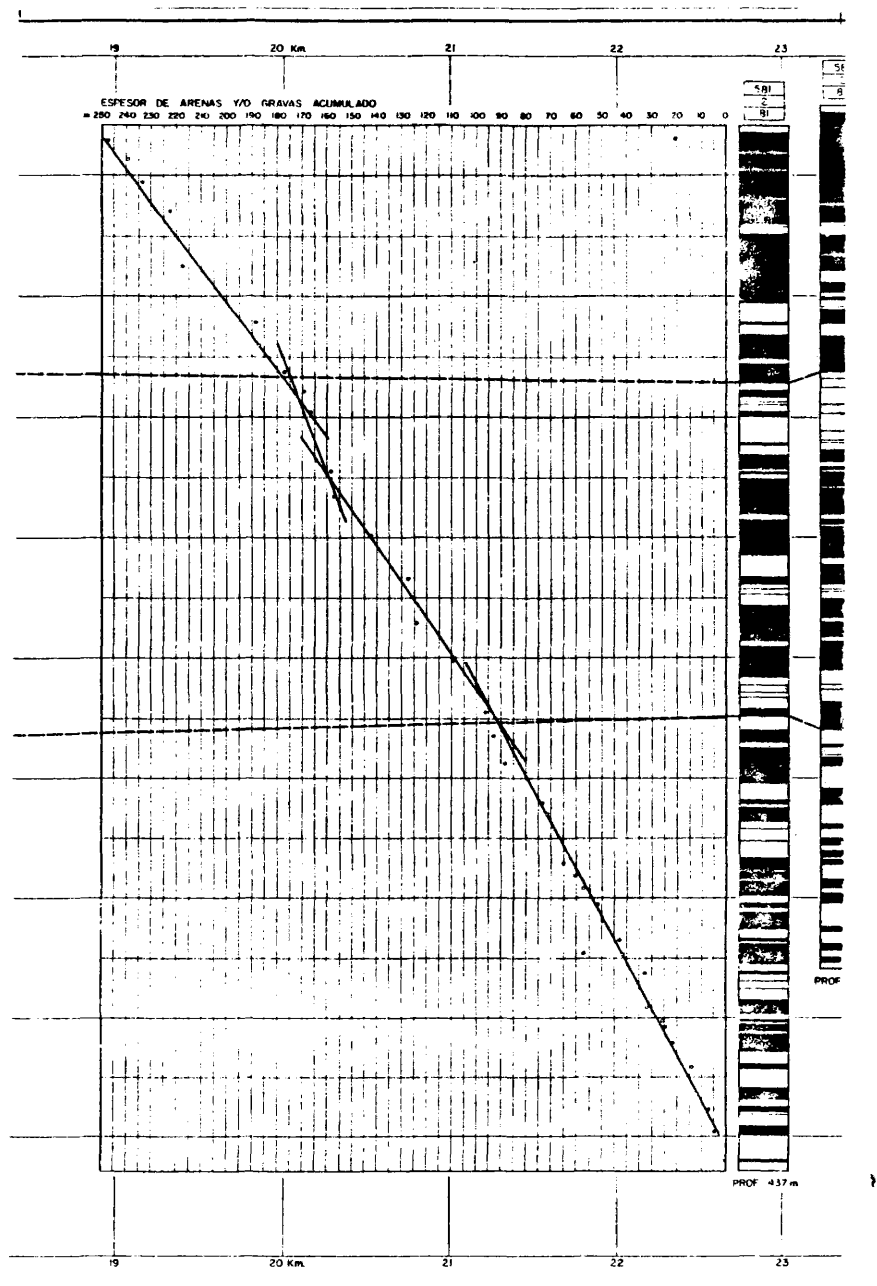
En los planos 3.1., 3.2., 3.3., 3.4., 3.5., y 3.6. representamos estas columnas litológicas esquemáticas asociadas en perfiles trazados según direcciones „ características; acompaña a cada columna su correspondiente representación del espesor acumulado de tramos

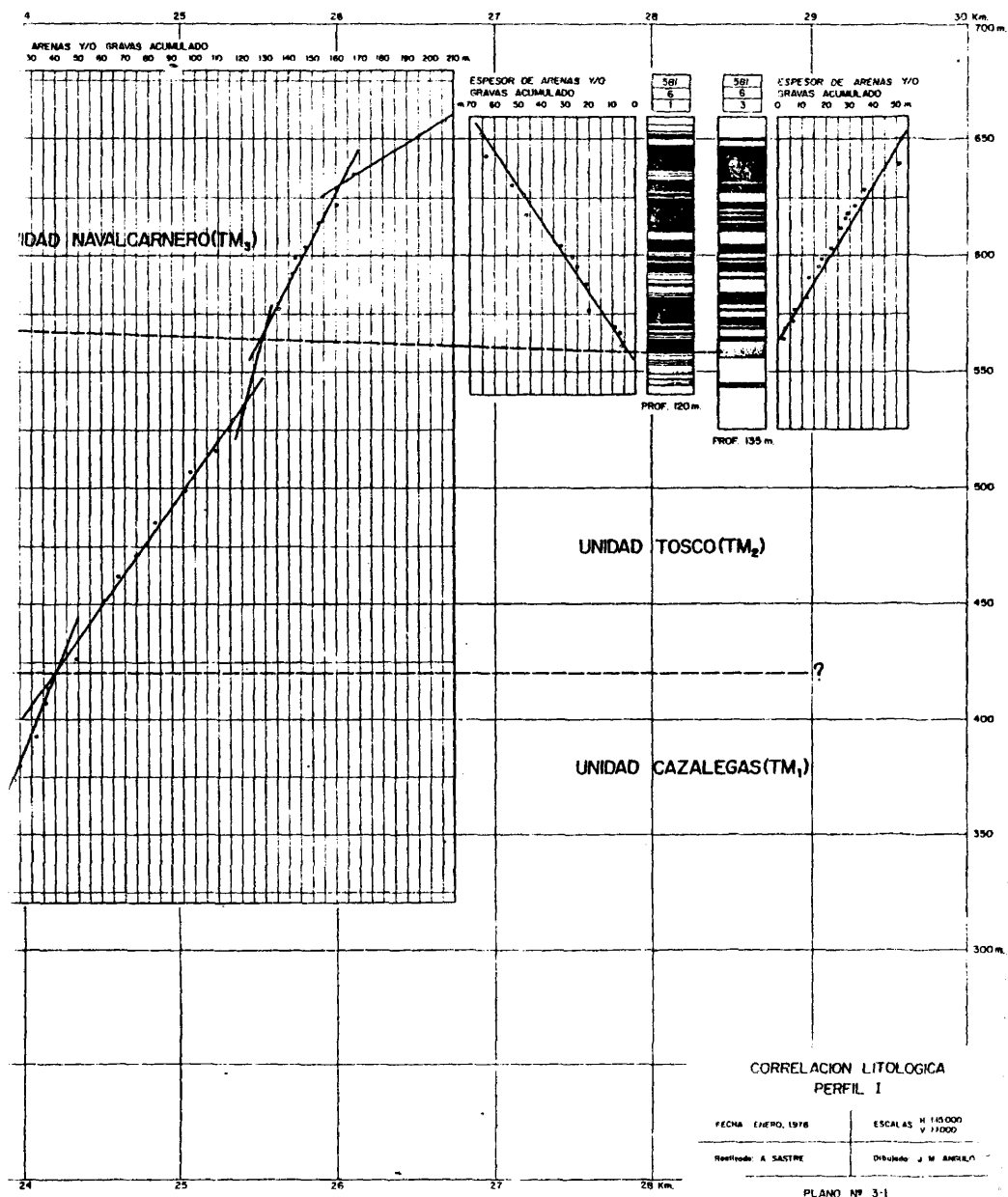


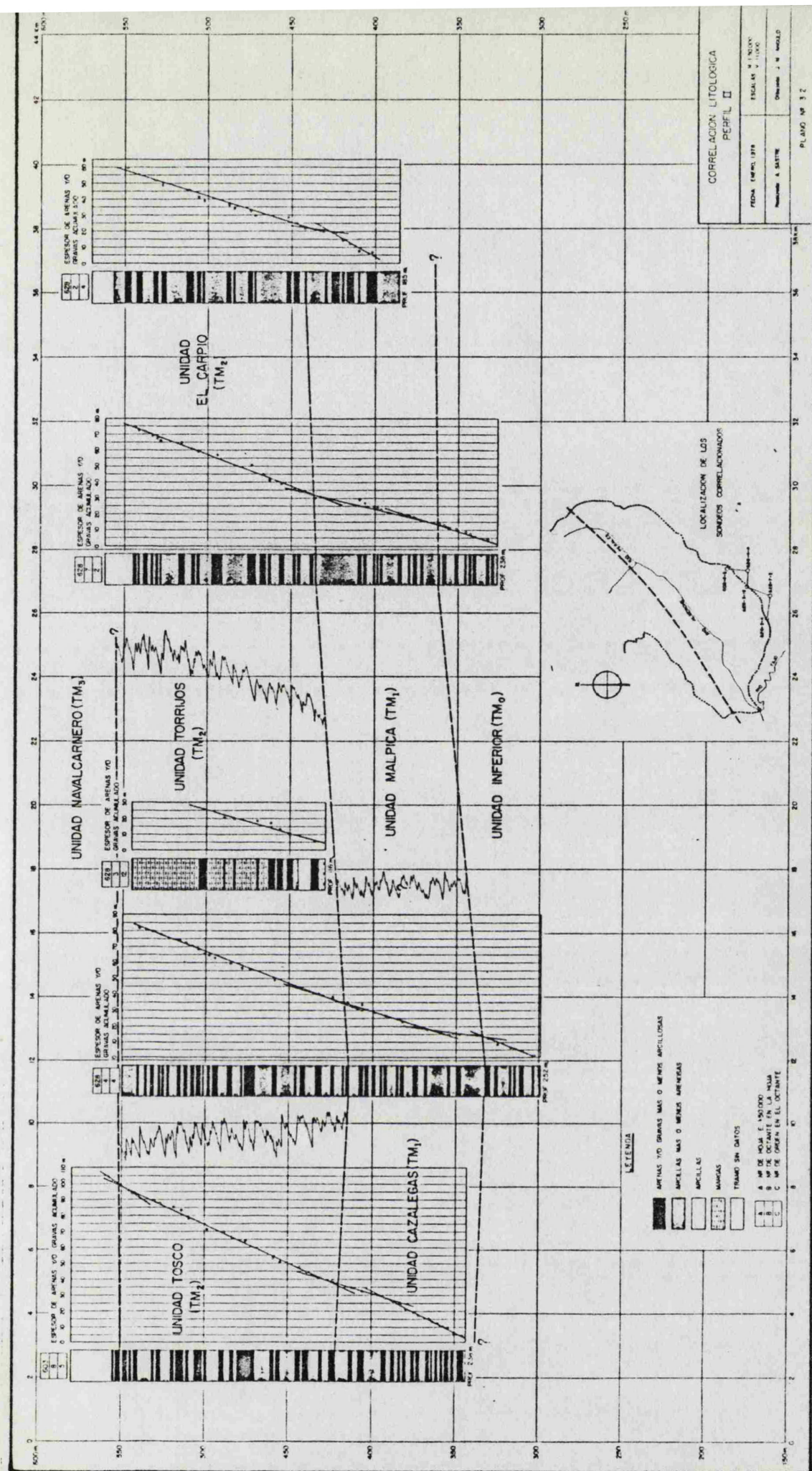




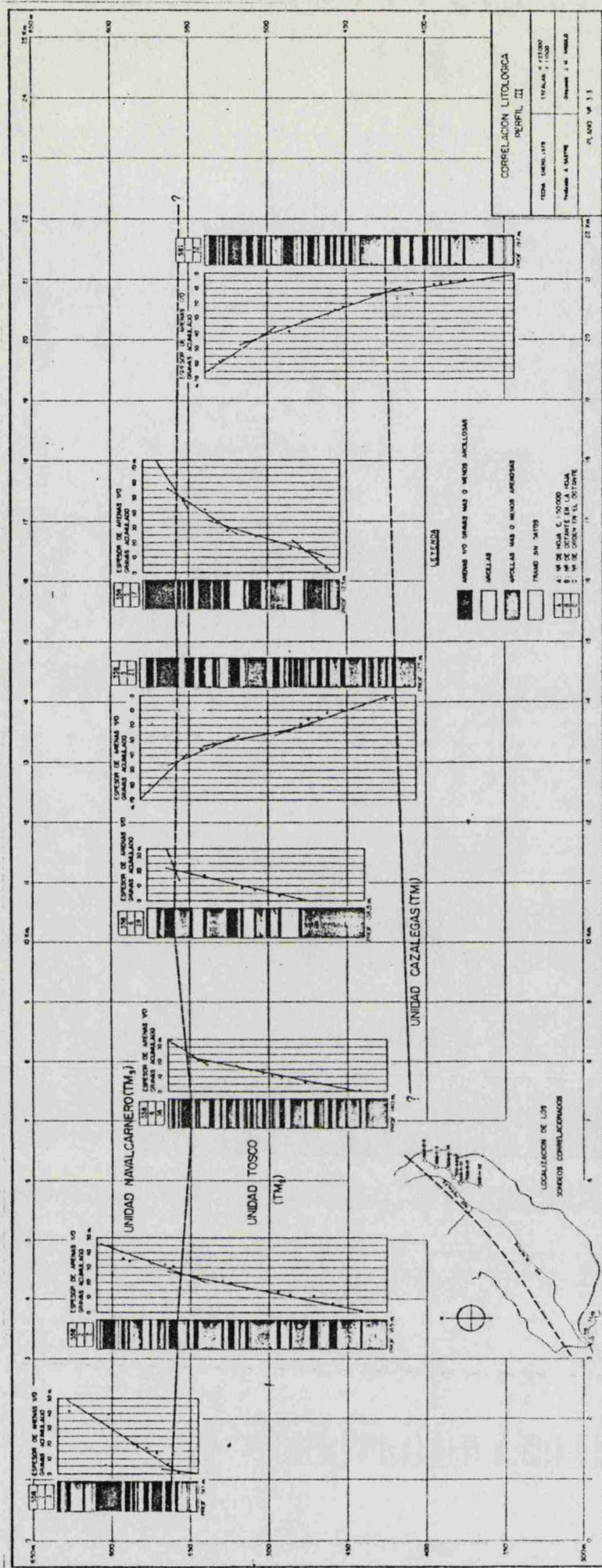




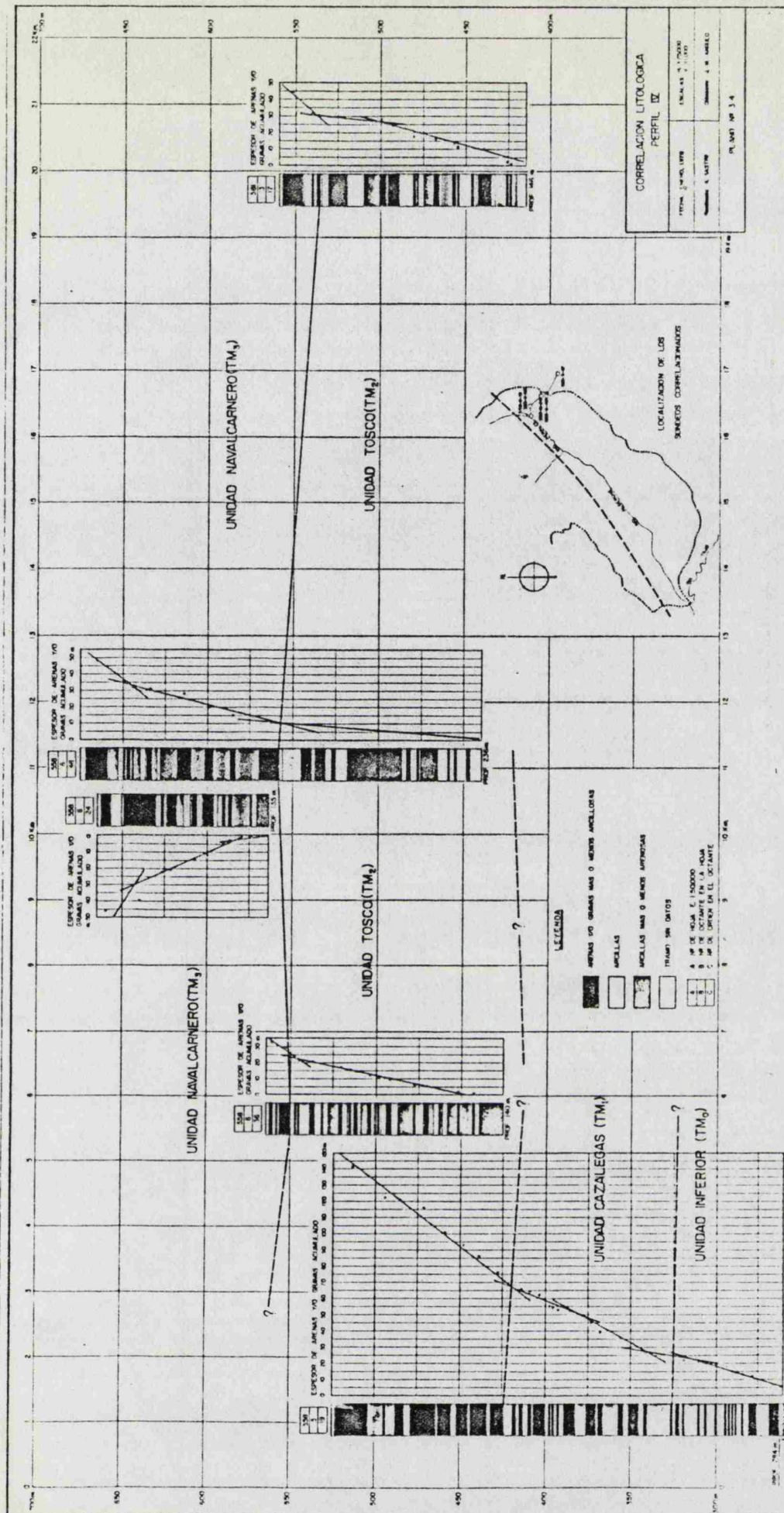




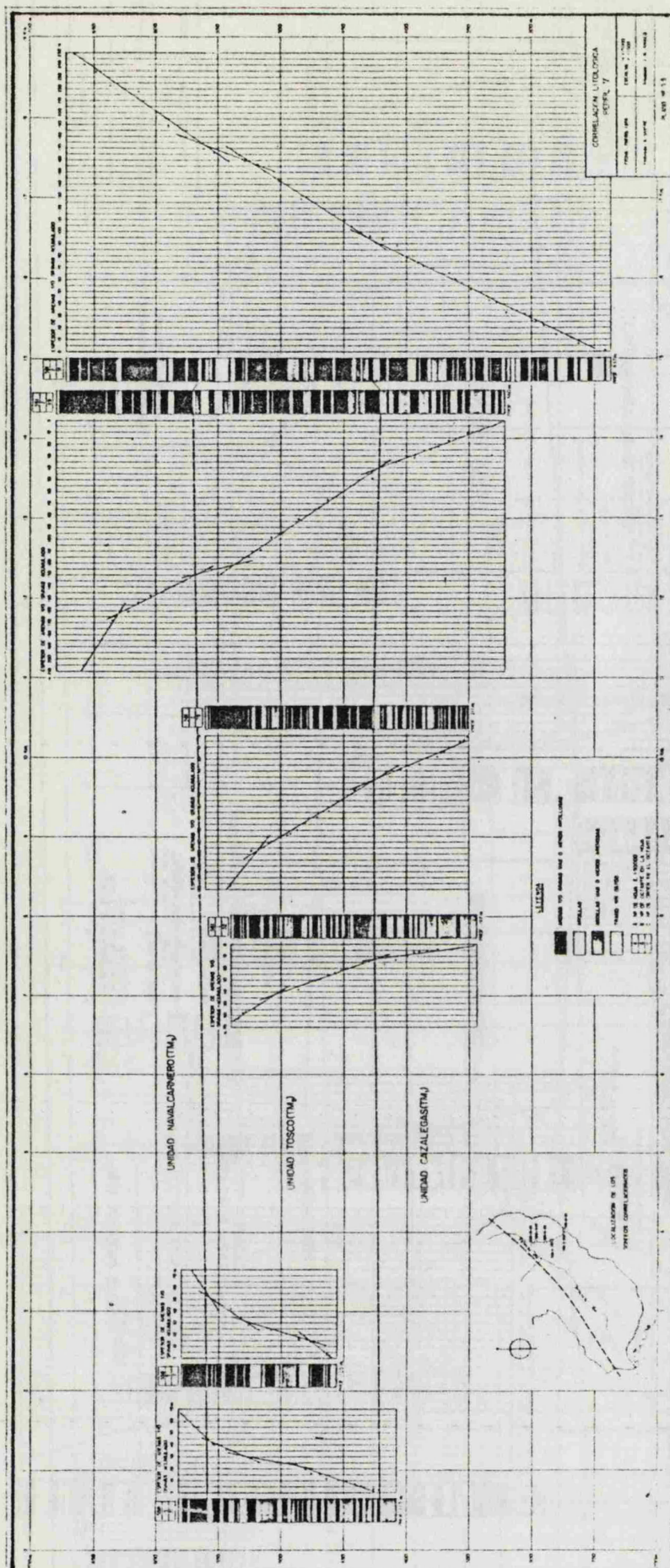




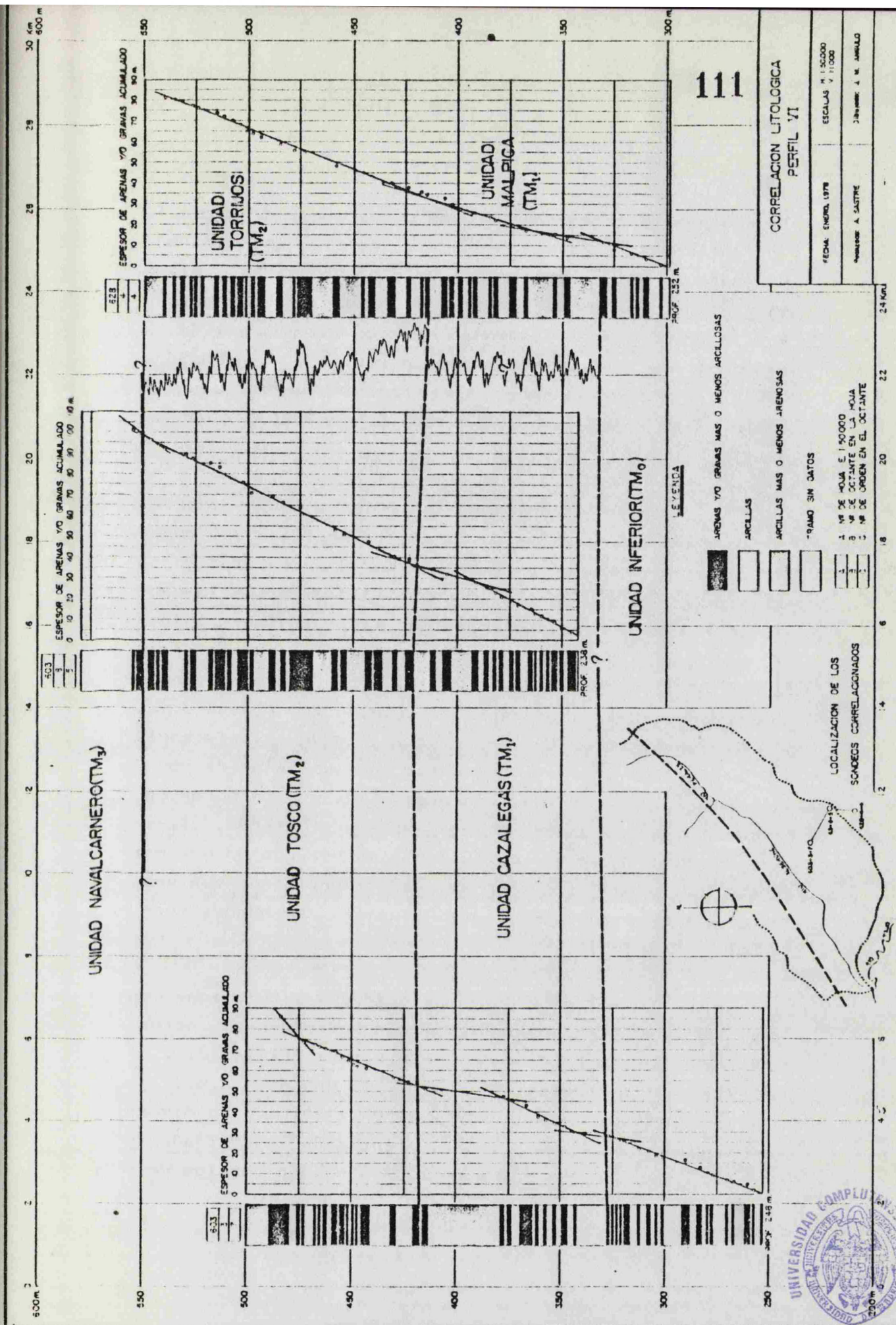












fundamentalmente arenosos. Como puede observarse, quedan definidas, a escala de toda la zona de estudio, un conjunto de unidades litológicas caracterizadas cualitativamente por un diferente contenido arenoso y por unas determinadas relaciones -siempre las mismas- de pendiente de las rectas de ajuste respecto a las unidades infra y suprayacentes. La definición de estas unidades se ha completado con criterios geológicos de campo.

Las diferencias en las cotas a las que aparece cada una de estas unidades en los perfiles así contruïdos puede obedecer en alguna medida a errores en la nivelación de los pozos y sondeos. Sin embargo, la causa principal de estas diferencias la atribuïmos al juego de bloques del basamento, siguiendo las ideas de Alfa, M. (1.960); buenos ejemplos de estas desnivelaciones pueden observarse especialmente en los planos 3.1., 3.3., 3.6. y sobre todo en el 3.2., donde la existencia de sedimentos de cierto carácter químico coincide con un notable descenso de las cotas a las que se ponen en contacto las unidades que venïamos considerando, circunstancias ambas que coinciden a su vez con un muy marcado "bajo magnético" que se puede identificar con una zona netamente deprimida del basamento (Hernández Fernández, E., 1.974).

La relación de estas unidades litológicas con las unidades crono-estratigráficas definidas por otros autores (Martín Escorza, C. y Hernández Enrile, J.L., 1.972; Martín Escorza, C., Carbó, A. Ubanell, A.G., 1.973; Martín Escorza, C., 1.974 y 1.976) son de diversa índole : en algunos casos, algunas de las unidades y contactos señalados por nosotros coinciden con los de

otros autores; otras veces sin embargo, alguna de nuestras unidades engloba a varias de los otros autores. Estos aspectos se tratarán con más detalle en los próximos apartados.

### 3.3.3.2.- Facies detrítica o marginal

La mayor parte de los materiales terciarios modernos que afloran en la cuenca del río Alberche son de carácter detrítico. Hemos podido distinguir seis unidades litoestratigráficas atendiendo a los criterios expuestos en el apartado anterior, a las que hemos denominado Unidad Inferior, Unidad Cazalegas, Unidad Malpica, Unidad Tosco, Unidad El Carpio y Unidad Navalcarnero. En función del área madre de cada una, dichas unidades pueden reagruparse, como iremos viendo a continuación, en sólo dos : las de facies Madrid y las de facies Toledo, dominios definidos, a partir de criterios de campo, por Riba, O. (1.957) y mineralógicamente subrayados por Benayas et al (1.960) -definición de las provincias petrográficas de Madrid y Toledo-.

Desde el punto de vista de sucesión en el tiempo, las mencionadas unidades litológicas se pueden reagrupar en cuatro episodios que inspirándonos en Martín Escorza, C. y Hernández Enrile, J.L. (1.972) y en Martín Escorza, C. (1.974), denominaremos de antiguo a moderno  $TM_0$ ,  $TM_1$ ,  $TM_2$  y  $TM_3$  (  $TM$  : Terciario Moderno ).

La distribución en superficie de las citadas unidades litoestratigráficas, y las relaciones que guardan entre sí, pueden observarse en el Mapa Litoestratigráfico (Plano nº1); la distribución en profundidad en los cortes geológicos esquemáticos (Plano nº2)

y en los perfiles hidrogeológicos que presentamos (Planos 5.1., 5.2., 5.3., 5.4., 5.5., 5.6., 5.7., 5.8. y 5.9.).

#### 3.3.3.2.1.- Unidad Inferior.

Denominamos así al conjunto más profundo de materiales que hemos podido caracterizar parcialmente, en la cuenca terciaria del río Alberche; decimos parcialmente porque no llegan a aflorar en superficie, por lo que el conocimiento que de ellos poseemos ha sido inferido ya de las descripciones litológicas de los detritus obtenidos en la construcción de los pozos y sondeos que la han alcanzado, ya de la interpretación de los registros de potencial espontáneo, resistividad y radiación gamma realizados en dichos pozos o sondeos.

Asignamos esta unidad litoestratigráfica al episodio  $TM_0$ . Para una impresión general del aspecto que sus materiales ofrecen, pueden observarse las columnas esquemáticas de los perfiles II, IV y VI de correlación litológica (planos 3.2., 3.4. y 3.6.); un análisis más detallado puede hacerse estudiando la descripción litológica de los detritus de los pozos y sondeos 558-5-19, 603-5-4, 603-5-5, 627-1-35, 627-1-62 y 627-2-30, así como de los registros geofísicos de los sondeos 602-8-18, 603-3-7, 628-2-4, 628-4-4 y 628-7-2 (Anexo n°3).

Se caracteriza esta unidad por una muy regular alternancia de tramos de poco espesor -del orden de 2 ó 3 m.- en los que sucesivamente predomina la fracción arenosa sobre la fina y viceversa, pudiéndose ajustar bastante bien la representación de los espesores acumulados a una recta única, de pendiente homogénea, a lo

largo de todo el tramo que de esta Unidad Inferior conocemos a través de los citados sondeos y registros. Quizás lo más destacable sea el que esta unidad mantenga una continuidad en su aspecto global -al menos en lo que de ella conocemos- con las unidades suprayacentes que iremos comentando a continuación; así por ejemplo, en los testigos y detritus que hemos podido examinar nosotros mismos se sigue observando la existencia de bandas rojizas y grises hasta el mismo final del sondeo -a cotas del orden de 250 m. s.n.m.-, estructura que fue puesta de manifiesto en estos sedimentos por Martín Escorza, C. (1.974) y que el citado autor denominó N.R.G.C. (Niveles Rojizos y Gris-Ceniza) y sobre la que volveremos más adelante.

En principio es lógico pensar el desglose de esta unidad en otras dos que reflejarán la distinta naturaleza de las dos áreas-madre de estos materiales, e incluso una unidad más resultante de la indentación, en el centro de la cuenca, de las dos anteriores; sin embargo, los elementos definidores de esta unidad, por limitados y poco resolutivos para este fin, no nos permiten inferir tal consecuencia. Sí podemos decir que no hemos encontrado indicios, en lo que de esta unidad sabemos, de materiales evaporíticos o salinos que pudieran ser causantes de la existencia de aguas salobres en la región de Talavera de La Reina (Sastre Merlín, A., 1.976 b), que de existir estarían a una profundidad mayor que la alcanzada por los sondeos de que hemos dispuesto (Ver Capítulo 7).

Como es natural, no conocemos el límite inferior de esta unidad; el superior lo establecemos a cotas próximas a 330 m. s.n.m. (plano 3.4. y 3.6.) aunque

en algunos casos puede llegar a los 350 m. s.n.m. (puntos 628-7-2 y 628-2-4, plano 3.2.). Es probable que dicho límite coincida con una superficie de erosión semejante a las observadas por Martín Escorza, C. y Hernández Enrile, J.L. (1.972) y Martín Escorza, C. (1.974 y 1.976) entre otras unidades superiores de estos materiales terciarios.

#### 3.3.3.2.2.- Unidad Cazalegas y Unidad Malpica

Tratamos conjuntamente estas dos unidades lito-estratigráficas en el presente apartado por considerarlas incluídas en el episodio  $TM_1$  de sedimentación : la Unidad Cazalegas estaría integrada por los materiales Procedentes del arrasamiento del macizo cristalino septentrional, mientras que los de la Unidad Malpica procederían del arrasamiento del macizo de Montes de Toledo en ese mismo período de tiempo  $TM_1$ . La primera de estas dos unidades predomina en extensión superficial sobre la segunda, consecuencia de un mayor relieve del macizo septentrional ya en estos tiempos, situación que, como iremos viendo, parece haberse mantenido durante toda la sedimentación de estos materiales terciarios; este mayor relieve de uno de los macizos elevados junto con la distribución de bloques hundidos en las áreas deprimidas es la causa fundamental del carácter disimétrico de la cuenca sedimentaria, carácter que ya empieza a observarse en estos tiempos.

Debemos decir que de estas dos nuevas unidades definidas por nosotros solo es visible de manera directa la mitad superior; la mitad inferior la hemos caracterizado, al igual que la Unidad descrita en el apartado anterior, mediante las descripciones litológicas de los detritus de perforaciones y los registros geofísicos

de pozos y sondeos (planos 3.2., 3.4. y 3.6.).

Por ofrecer los mejores afloramientos en los taludes del vaso del embalse de Cazalegas y en los alrededores de Malpica de Tajo, hemos dado ambos nombres a los materiales de este episodio sedimentario. Comienzan con un paquete, de unos 20 m. de espesor, de materiales fundamentalmente de carácter arcilloso, que se puede identificar en todos los sondeos correlacionados; le sigue otro conjunto de materiales donde alternan los tramos más arenosos con los más arcillosos, predominando los primeros sobre los segundos : el espesor total de este segundo conjunto oscila entre 35 y 50 m.; finaliza esta unidad con un tercer conjunto, de espesor comprendido entre 20 y 30 m., donde vuelven a predominar como al principio los materiales de granulometría fina sobre los de granulometría gruesa,

Como hemos dicho, los mejores afloramientos de los tramos superiores de la Unidad Cazalegas pueden observarse en los taludes del vaso del embalse de ese mismo nombre -o del Alberche- (Fig.3.11.). Un curioso modelado de estos taludes puede verse en la Fig.3.12. a y b, en la que los niveles oscuros corresponden a la presencia de bandas rojizas y grises (N.R.G.C.). En las proximidades del contacto con el macizo cristalino septentrional pueden identificarse pequeñas fallas que suponemos parejas del gran accidente tectónico que supone ese contacto propiamente dicho (Fig.3.13). Constituyen también buenos afloramientos los escarpes labrados por el Tajo en su margen izquierda en las proximidades de Talavera de La Reina (Figs.3.14. y 3.15.).

Los materiales de la Unidad Malpica se distin-





Fig. 3.11.: Materiales superiores de la Unidad Capalegas. Obsérvese el suave buzamiento al S. (derecha en la foto), posiblemente sinsedimentario. Embalse de Cazalegas -o del Alberche- (Toledo).

guen "de visu" solo ligeramente de los de la Unidad Cazalegas por sus tonos algo más rojizos; los mejores afloramientos se pueden observar en los alrededores de Malpica de Tajo, entre los complejos de terrazas de ese río (ver Plano n°1). El tránsito lateral entre estas dos unidades es insensible y de difícil observación por estar muy oculto por los depósitos aluviales del Tajo.

El límite inferior de estas dos unidades lo establecíamos a cotas próximas a los 330 m. s.n.m.; el superior, en nuestra opinión, podría establecerse alrededor de los 420 m. en zonas de centro de cuenca y algo más alto hacia el borde septentrional; se correspondería este límite superior aproximadamente con la superficie de erosión  $S_0$  de Martín Escorza, C. (1.974 y 1.976). Es-

119



Fig.3.12. a



b

Fig.3.12. a y b : Materiales de la Unidad Ca-  
zalegas. Modelado de los taludes del vaso del  
embalse de Cazalegas; los niveles oscuros  
corresponden a bandas rojizas y grises. Em-  
balse de Cazalegas -o del Alberche- (Toledo).

120

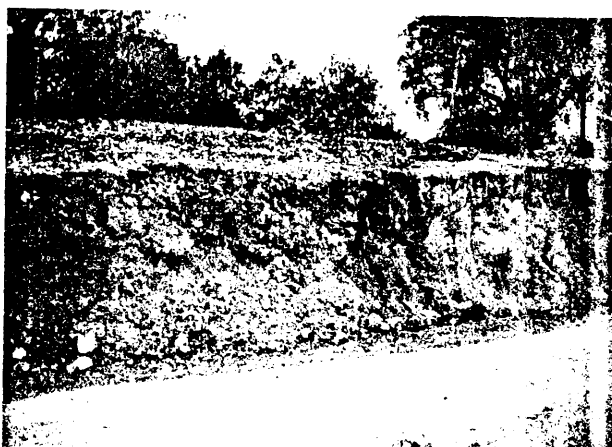


Fig.3.13.: Falla en los materiales de la Unidad Cazalegas. Camino de San Román a Serranillos Playa (Toledo).



Fig.3.14.: Escarpes labrados por el río Tajo en los materiales de la Unidad Cazalegas. A la derecha la llanura aluvial actual; al fondo la ciudad de Talavera de La Reina. Vista desde el cerro de Santa María, Pueblanueva (Toledo).

121

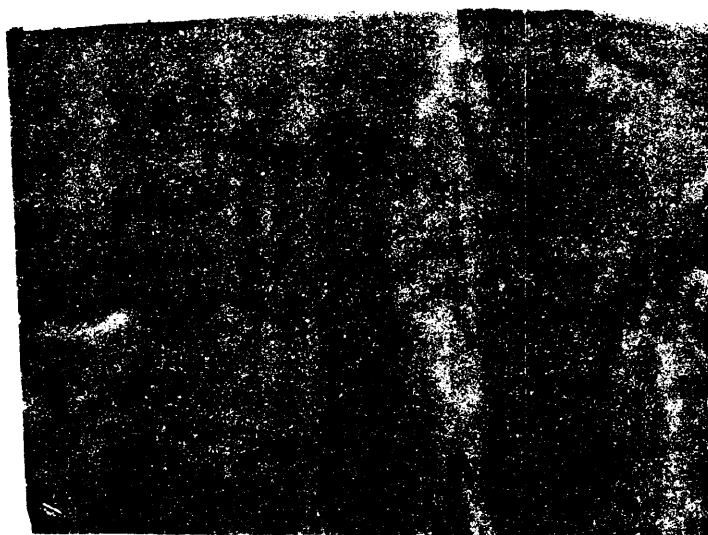


Fig.3.15.: Detalle de los escarpes de la Fig.3.15.

te conjunto integrado por las dos unidades descritas sería equivalente a la Unidad cronoestratigráfica Inferior (U.I.), definida por el citado autor y que es atribuida al Oligoceno.

#### 3.3.3.2.3.- Unidades Tosco y Carpio.

Corresponderían estas dos unidades al episodio de sedimentación  $TM_2$ ; manteniendo el mismo criterio que en el apartado anterior, los materiales de la Unidad Tosco procederían del Macizo Central, preponderando también, al igual que antes, sobre los de la Unidad Carpio, procedentes de los Montes de Toledo.

Ofrecen estas dos unidades un aspecto más ma-

sivo y homogéneo en todo su espesor que las unidades infra y suprayacentes (ver planos 3.1. a 3.6.); predominan en general los niveles arcillo-arenosos sobre los areno-arcillosos; los tramos constituidos por materiales más gruesos (arenas y conglomerados) están bastante regularmente distribuidos, siendo aproximadamente constante su espesor : la consecuencia de esto es que en casi todos los sondeos correlacionados puede ajustarse bastante satisfactoriamente una recta única a los puntos representativos de los espesores acumulados de estos tramos (Planos 3.1., 3.2., 3.3., 3.4., 3.5. y 3.6.); sin embargo, los más inferiores contrastan con los fundamentalmente arcillosos de las unidades infrayacentes y de ahí que se pueda identificar bastante bien en algunos lugares la base de estas dos formaciones (Fig.3.16.).



**Fig.3.16.:** Niveles conglomeráticos de la base de la Unidad Tosco. Camino de Casar de Escalona al río Alberche (Toledo).

En las proximidades del macizo septentrional predominan en los materiales de la Unidad Tosco las formaciones de bloques (Fig.3.17.); también es frecuente observar buzamientos hacia el S. de los que es difícil decir si tienen un origen sinsedimentario o tectónico (Fig.3.18). Las bandas rojizas y grises adquieren sin duda un mayor desarrollo y frecuencia, así como una mayor intensidad en la coloración de estas zonas marginales.



Fig.3.17.: Formaciones de bloques correspondientes a la Unidad Tosco (Subfacies proximal). Carretera de Aldea del Fresno a Chapinería, Km.6 (Madrid).

Hacia el interior de la cuenca, los materiales de esta unidad adquieren el aspecto más homogéneo que al principio comentábamos (Fig.3.19.); se desarrollan en ella a veces espectaculares cárcavas como las que mostramos en la Fig.3.20. En el área Navalcarnero-



Fig.3.18.: Materiales de borde de la Unidad Tosco; obsérvese el nítido buzamiento al S. (hacia la derecha). Carretera de Garciotun a Nuño Gómez, Km.5,300. (Toledo).

-El Alamo-Valmojado, donde la Unidad Tosco yace oculta por los materiales de una unidad suprayacente, las descripciones litológicas de los detritus de los pozos profundos (581-2-69, 581-2-81- 581-2-89, 581-6-3, 581-6-1; planos 3.1. y 3.5.) acusan la existencia, hacia el techo de esta unidad, de un conjunto muy arcilloso y homogéneo de unos 15 m. de espesor, que se puede diferenciar bastante bien de los restantes materiales infrayacentes de la misma unidad. Esta misma anomalía es observada por Rebollo, L. (1.977) en la cuenca vecina del río Guadarrama, al estudiar los detritus de las perforaciones enclavadas en el área Móstoles-Fuenlabrada; el citado autor observa el fenómeno en superficie a la altura del Puente del Miradero sobre el río Guadarrama : coincidimos en atribuir este conjunto a "un nivel" más avanzado "de los que integran" las facies de transición



Fig.3.19.: Aspecto de los materiales de la Unidad Tosco hacia el interior de la cuenca (Subfacies media; niveles ferruginosos). Alrededores de Villamanta (Madrid).



Fig.3.20.: Acarcavamiento en los materiales de la Unidad Tosco, Km. 16,100 de la Carretera de Navalcarnero a Aldea del Fresno (Madrid).



## 126

(Rebollo, L., 1.977).

Los materiales de la Unidad Carpio se diferencian por un mayor contenido arcilloso en líneas generales, menor espesor de los tramos conglomeráticos y un ligero tono rojizo (sondeos 628-2-4 y 628-7-2; Plano 3.2.); pueden observarse al S. de El Carpio de Tajo y de ahí el nombre de la unidad. El tránsito entre las dos unidades descritas está representado por las facies de transición bien definidas en los alrededores de Torrijos; algo más hacia el W., en el área Mesegar-Erustes-Cebolla, donde no puede hablarse ya de facies mixtas, la situación es menos clara.

El espesor total de los materiales de estas dos unidades, que junto con los de la Unidad Torrijos -que describiremos más adelante- corresponden al episodio de sedimentación  $TM_2$ , está comprendido entre 130 y 140 m. El límite con las Unidades Cazalegas y Malpica in frayacentes lo establecíamos a cotas próximas a 420-430 m. s.n.m.; el límite superior está comprendido entre 550 y 560 m. : un buen ejemplo de adaptación de este límite a las estructuras del basamento puede verse en el plano 3.1. entre los sondeos 558-7-21 y 581-2-69; precisamente en ese área Cadavid Camiña, S. (1.977) define una marcada depresión en el basamento limitada por fallas, estructura que parece acusarse también en el plano 3.4.

El citado límite superior se correspondería con la superficie de discordancia erosiva  $S_2$  de Martín Escorza, C. (1.974 y 1.976), que puede ser vista con claridad en el Km. 1,400 de la carretera de Villamanta a Villamantilla; los materiales de estas dos unidades serían equivalentes a los  $M_1 + M_2$  del citado autor. La

## 127

Unidad Tosco sería equivalente a la "Unidad Tosco" de Rebollo, L. (1.977) y "Formación Tosco" de López Vera, F. (1.975); la Unidad Carpio se correspondería asimismo con las "Unidades Bargas + Villamiel" de Rebollo, L. (1.977).

#### 3.3.3.2.4.- Unidad Navalcarnero.

"Pasado Santa Cruz de Retamar comienza ya el terreno de Madrid ..." (Luján -o Luxán-, F., 1.850).

De esta cita bibliográfica se deduce la diferenciación que el citado autor considera -aunque no la representa ni en su mapa geológico ni en los cortes (Fig.2.2.)- en los materiales terciarios de la Cuenca de Madrid. Este límite suroccidental del "terreno de Madrid" coincide con la Unidad Navalcarnero definida por nosotros : correspondería esta última unidad terciaria moderna, en facies detrítica, al episodio de sedimentación  $TM_3$ ; al contrario que los casos anteriores, los materiales constitutivos de esta unidad, de marcado carácter transgresivo, procederían en su totalidad del macizo septentrional. Es sensiblemente equivalente a los Grupos Galapagar y Universidad ( $M_{3-1}$  y  $M_{3-2}$ ) de la "Unidad Litoestratigráfica Transgresiva  $M_3$ " de Martín Escorza, C., (1.976), a la "Formación Madrid" de López Vera, F. (1.975) y a la "Unidad Madrid" de Rebollo, L. (1.977).

Son estos materiales fundamentalmente arcosas, de tonos claros, que contrastan sensiblemente con los de la Unidad Tosco, más oscuros. La granulometría es de una gran variación abarcando, desde los bloques hasta las partículas; es característico el aspecto arenoso y delez

nable del sedimento. Es corriente observar en los cortes del terreno la presencia de paleocanales rellenos de gravas (Fig.3.21.), más frecuentes conforme nos remontamos en la sucesión estratigráfica de los materiales de esta unidad.



Fig.3.21.: Aspecto de un paleocanal en la Unidad Navalcarnero. Carretera de Villanueva de Perales a la C-501, Km. 2 (Madrid).

Analizando las columnas litológicas esquemáticas de los pozos y sondeos que atraviesan esta formación (planos 3.1. y 3.3.) puede observarse como los tramos fundamentalmente conglomeráticos o arenosos preponderan claramente sobre los arcillo-arenosos y arcillosos; puede observarse asimismo como hacia techo aumenta tanto la frecuencia como el espesor de aquellos, lo que suele provocar una ruptura, hacia una menor pendiente, de la recta de ajuste de los puntos representativos del espesor acumulado de los mismos. Este fenómeno es observado también por López Vera, F. (1.975) en la cuen-

ca terciaria del río Jarama.

Hacia el borde septentrional de la cuenca comienzan a hacer aparición, interestratificados, formaciones de bloques, que adquieren el calificativo de espectaculares en los alrededores de Villanueva de La Cañada (Fig.3.22.). La génesis y edad de estas formaciones de bloques, sensiblemente semejantes a las de Galapagar y, especialmente, Torrelodones, conocidas desde antaño, han sido objetos de viva polémica entre los autores que se han ocupado de ellas.



Fig.3.22.: Formación de bloques en la Unidad Navalcarnero (Subfacies proximal). Carretera de El Escorial a Navalcarnero, Km.40 (Madrid).

Hacia el S., estos materiales son claramente transgresivos sobre los de las unidades infrayacentes, disponiéndose encima de las facies de transición -y aún del dominio sedimentario del macizo de Montes de Toledo- del episodio de sedimentación  $TM_2$ ; esto que decimos, que

ya fué hecho notar por Martín Escorza, C. (1.976), puede observarse especialmente en el área Torrijos-La Mata (ver Mapa Litoestratigráfico, plano n°1).

Se observa también en estos materiales de la Unidad Navalcarnero la existencia de encostramientos calcáreos que, si no exclusivos de esta unidad, es en ella donde con mayor frecuencia aparecen. Buenos ejemplos se observan en los alrededores de Navalcarnero y Quijorna. Estos procesos edáficos se discuten en el excelente trabajo de Vaudour, J. (1.975).

#### 3.3.3.3.- Facies de transición

Como acabamos de ver, los materiales de la Unidad Navalcarnero (episodio de sedimentación  $TM_3$ ) son claramente transgresivos hacia el S., disponiéndose encima de los materiales de facies Toledo de la unidad subyacente : no existen en este episodio facies de transición, sino solo detríticas. En los materiales del episodio de sedimentación  $TM_1$  (Unidades Cazalegas y Malpica) tampoco hemos observado en superficie dichas facies; por otro lado los detritus de los materiales atravesados por los pozos y sondeos que alcanzan estas unidades en zonas de centro de cuenca, donde sería previsible encontrarlas, no acusan indicios en ese sentido. Solo en el episodio sedimentario que hemos denominado  $TM_2$  aparece con cierta nitidez un conjunto de materiales que pueden ser clasificados como de facies de transición o mixta, que pasamos a comentar a continuación bajo la denominación de Unidad Torrijos.

## 3.3.3.3.1.- Unidad Torrijos.

Aparecen dispuestos estos materiales según una estrecha banda que, con dirección E-W, coinciden con la divisoria hidrográfica Tajo-Alberche; atraviesa esta banda el término municipal de Torrijos, y de ahí el nombre que damos a esta Unidad, que sensiblemente coincide con la "Unidad Yuncos" definida por Rebollo, L. (1.977) y con el Grupo de Serie Blanca, M<sub>3-3</sub>, de Martín Escorza, C. (1.976).

Los materiales que la integran son arenas arcillosas, arcillas ocres, margas, calizas margosas y calizas arenosas; localmente aparecen niveles con sílex y sepiolitas. A veces se observa una estratificación clara, subhorizontal generalmente.

La primera y muy completa alusión a estos materiales se hace en Prado, C. (1.864); el citado autor ya hace mención de la presencia de sílex en las calizas de los cerros de Barcience, haciendo observar de aquél que es, "de todas las rocas terciarias, la que se presenta con más irregularidad en la sucesión de las capas ..."; cita asimismo el hallazgo de restos fósiles de mamíferos (Mastodón Longirostris, Kaup) en estas calizas, "... así como en las margas subyacentes que se hallan en contacto con ellas", yacimientos que son redescubiertos por Martín Escorza, C. y Hernández Enrile, J.L. (1.972). Estos materiales llamaron la atención de los autores antiguos por considerarlos "manchones terciarios" en el "diluvium"; alguna alusión puede encontrarse también en Mallada, L. (1.907), Fernández Navarro, L. (1.909) y Mallada, L. y Dupuy de Lome (1.912).

## 132

Una nueva interpretación de conjunto es dada por Royo y Gómez, J. (1.929 c), consecuencia de los trabajos anteriores de este mismo autor (Royo y Gómez, J., 1.926 a y b; 1.928 a y b) (ver Fig.2.4.); este autor sugiere la posibilidad de la existencia de más de un nivel de calizas con sílex en las facies de transición de estos materiales terciarios, hipótesis que es mantenida por Bustillo, M.A. (1.976); para este último autor las rocas silíceas de las facies de transición se pueden diferenciar claramente de las restantes rocas silíceas de la Cuenca de Madrid; estas facies de transición serían la consecuencia de una precipitación química básica en medio lagunar. Las rocas silíceas del área Torrijos-Barcience corresponderían al subepisodio inferior del episodio inferior silíceo de las facies de transición (Bustillo, M.A., 1.976); estas calizas con sílex, hacia el W., pasan a calizas arenosas, que a su vez se acuñan en sedimentos detríticos (Planos <sup>OS</sup> 1, 2, 5.4. y 5.5.).

Los materiales de esta unidad tienen también un carácter transgresivo especialmente hacia el techo sobre las unidades de facies detrítica Tosco -hacia el N.- y Carpio -hacia el S.- más acentuado sobre la primera que sobre la segunda, como puede observarse en el corte geológico III-III' (plano n°2) y en los perfiles hidrogeológicos IV y VIII (planos 5.4. y 5.8., respectivamente). Coincide esto con la observación que hacíamos en el epígrafe 3.3.3.2.3. cuando comentábamos la presencia de un conjunto arcillo-margoso en el área Navalcarnero-Valmojado-El Alamo, justo por debajo de la Unidad Navalcarnero, conjunto que justificábamos como un nivel "más avanzado" de la facies de transición.

El límite inferior de la Unidad Torrijos coincide con el de separación de las Unidades Tosco y Carpio

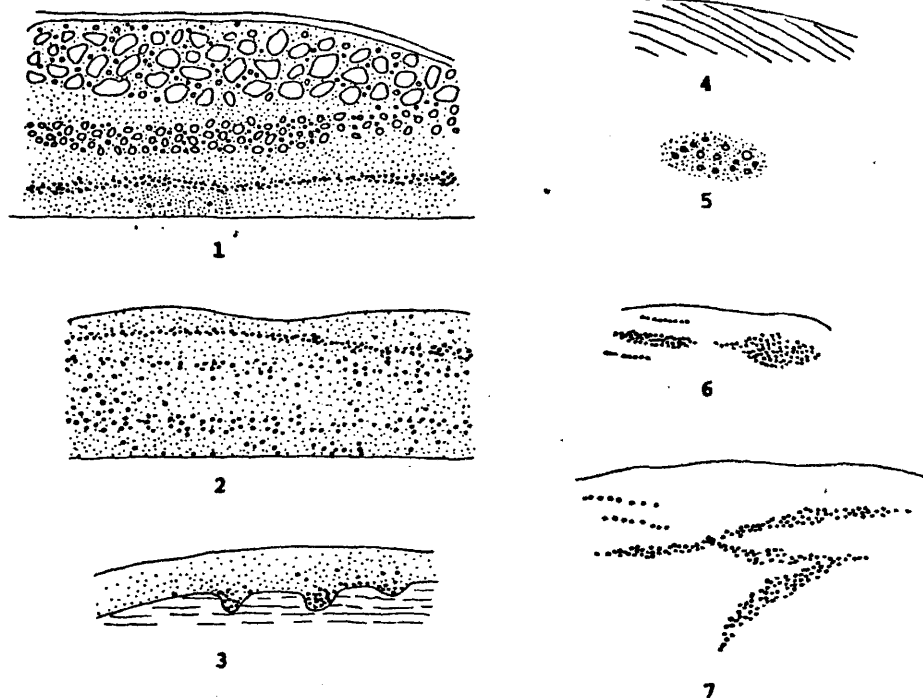
con las Unidades Cazalegas y Malpica, es decir a cotas de 420 m.; sin embargo, un buen ejemplo de la influencia del basamento en la disposición de este límite y en la del límite inferior de la unidad infrayacente, puede verse en el plano 3.2. : la tendencia al descenso de ambos coincide muy bien con una acusada depresión basamental definida mediante métodos geomagnéticos por Hernández, M.E. (1.974). El límite superior coincide con el límite inferior de la Unidad Navalcarnero (superficie de discordancia erosiva S<sub>2</sub> de Martín Escorza, C., 1.976).

#### 3.3.3.4.- Modelo del medio de sedimentación

La atribución de la génesis de estos sedimentos a un medio sedimentario fluvial se ha hecho desde el primer tercio del pasado siglo : Bordiú, C. (1.830) ya habla de " ... un suelo formado de acarreos compuestos de arena mezclada con arcilla..." remitiéndose a su traducción de la obra de Garnier (1.821) para comprender la diferencia " ... entre terreno de acarreo y de aluvión ... "; con anterioridad Bowles supuso que las arenas arcósicas de los alrededores de Madrid provendrían " ... de la descomposición del granito que hubo en otro tiempo en aquellos parajes", pero ya Bordiú, C. opina que "... tal idea es inadmisibile en un tiempo en que se sabe que esta roca no yace jamás sobre terrenos de aluvión".

Un buen número de características paleogeográficas son observadas y descritas por Prado, C. (1.864) (Fig.3.23.) que sigue pensando en un medio fluvial : "La masa general del diluvium ... particularmente se presenta como producida por una inmensa hoja de agua que bajase de la sierra ...", agua que procedería " ... de los hielos que la coronasen durante cierto tiempo ...".





**Fig.3.23 : Diversas estructuras observadas en el terreno "diluviano", según Prado, C. (1.864).**

- 1.- Corte en el "diluvium" de Torrelodones, tomado en la trinchera del ferrocarril del Norte.
- 2.- Estratificación propia del "diluvium".
- 3.- "Denudaciones" sufridas por el "diluvium".
- 4.- Inclínación que " ... a veces se observa en los asientos diluvianos".
- 5., 6., 7.- Especial disposición del "guijo" entre el diluvium arcillo-arenoso.

Este autor supone por otro lado que es preciso admitir la acción glaciaria para explicar muchos fenómenos del "diluvium" aunque subraya inmediatamente que "poco pudo influir esta última en la estructura ..." que aquel ofrece, producida por "... un transporte de materias desechas a favor de una inundación torrencial de aguas": la acción de los hielos sería responsable principalmente de la liberación de material en el área madre, aunque también sería causante de cierto transporte, circunscrito a las zonas serranas. En ningún momento se supone un mecanismo de transporte y deposición glaciaria para las formaciones de bloques terciarios.

Los materiales de la facies de transición han sido atribuidos desde el principio a un medio sedimentario lacustre (Ezquerro, J., 1.845; Prado, C., 1.864; Calderón, S., 1.884 a). No hay que olvidar la disyunción que se hacía entre estos materiales "terciarios" y los detríticos "diluviales".

El sector "diluvial" colindante al macizo septentrional, donde son frecuentes las formaciones de bloques, ha sido objeto de una viva polémica, especialmente entre finales del pasado siglo y comienzos del actual; se discutía, sin poner en duda el origen fluvial del conjunto, el origen particular de dichas formaciones de bloques a las que se supuso semejantes a depósitos morrénicos o fluvio-glaciares (Asensio Amor, I., 1.965). Dichas hipótesis, así como la del origen torrencial en sentido estricto, son rebatidas por Carandell, J. (1.928), que sugiere por el contrario la del "transporte lento": los bloques graníticos, que procederían de la misma zona de contacto cristalino-sedimentario, irían "... rodando por sí mismos hasta depositarse en el fondo de una

## 136

cuenca fluvio-lacustre", en épocas de grandes y persistentes lluvias. Royo y Gómez, J. (1.928 c) opina -y no sin razón- que gran parte de la confusión existente sobre la génesis de estos materiales proviene de que " ... siempre se ha considerado a estos depósitos como formados en el corto espacio de tiempo que representa el Cuaternario", depósitos que "no muestran ... la estratificación cruzada propias de la acción torrencial, sino la paralela típica de un depósito lento o fluvio-lacustre " (Royo y Gómez, J., 1.928 c).

Es precisamente alrededor de estos años cuando Blackwelder, J. (1.928 y 1.931), precursor del estudio de este tipo de medios sedimentarios, describe los mecanismos de génesis de sedimentos en regiones montañosas semiáridas a partir de modelos actuales; posteriormente, Blissenbach, E. (1.954) define el concepto de "abanico aluvial" ("alluvial fans") describiendo las condiciones geológicas que las propician así como la geología de los depósitos propiamente dichos. El conocimiento de estos dos trabajos es importante para comprender con detalle las ideas actuales.

Las dos condiciones fundamentales para el desarrollo de un abanico aluvial según Blissenbach, E. (1.954) -relieve escarpado y clima árido o semiárido- son reconocidas por Hernández Pacheco, F. (1.962) en el Sistema Central; para las formaciones de bloques marginales se supone (Asensio, I., 1.960 y 1.965) un arrastre fluvial suave de corto recorrido junto a un lento desplazamiento por solifluxión.

Aunque ciñéndose a la Unidad Navalcarnero -o Madrid según Rebollo, L. (1.977)-, Mingarro, F. y Marfil,

## 137

R. (1.966) distinguen en ella dos tramos -inferior y superior- en los que acusan tres subdivisiones en cada uno de ellos que se justifican como "interferencias o superposiciones de distintos conos de aluvionamiento ... con una estructura lenticular y cuneiforme". Recientemente, López Vera, F. (1.975 y 1.977) ha insistido en el carácter de abanico aluvial del medio sedimentario de los materiales terciarios modernos de la Cuenca de Madrid, desarrollando un modelo cuya validez comprueba analizando la distribución espacial de caudales específicos de pozos en la cuenca del Jarama; siguiendo la pauta de ese autor, este medio sedimentario es reconocido por Martínez, P.E. (1.977), Rebollo, L.F. (1.977) y Villarroja, F.I. (1.977) en las cuencas próximas del Manzanares, Guadarrama y Henares, integrantes todas ellas de la Cuenca de Madrid; asimismo, este mismo medio es reconocido en un sector de la cuenca del Duero (García del Cura, M.A., 1.974; Ordoñez, S. y García del Cura, M.A., 1.976).

Según Selley, R.C. (1.970), los depósitos de medio fluvial se pueden clasificar en cuatro tipos principales; los sedimentos de la Cuenca de Madrid quedarían englobados en el tipo II del citado autor, es decir, en el de " ... secuencias de varios miles de metros de espesor depositados en surcos limitados por fallas ... bien en cadenas montañosas, bien en escudos continentales".

Así pues nuestro concepto de conjunto de esta formación terciaria moderna es la de un conjunto de abanicos de piédemonte de diferente extensión cuyo ápice se situaría al pié de los escarpes tectónicos del Macizo Central y Montes de Toledo solapándose entre sí en la horizontal y en la vertical (Fig.3.24.) . Entre los abanicos que no hubiera un solape horizontal perfecto es pro-

# MODELO DEL AMBIENTE DE SEDIMENTACION DURANTE EL TERCIARIO EN LA ZONA ESTUDIADA

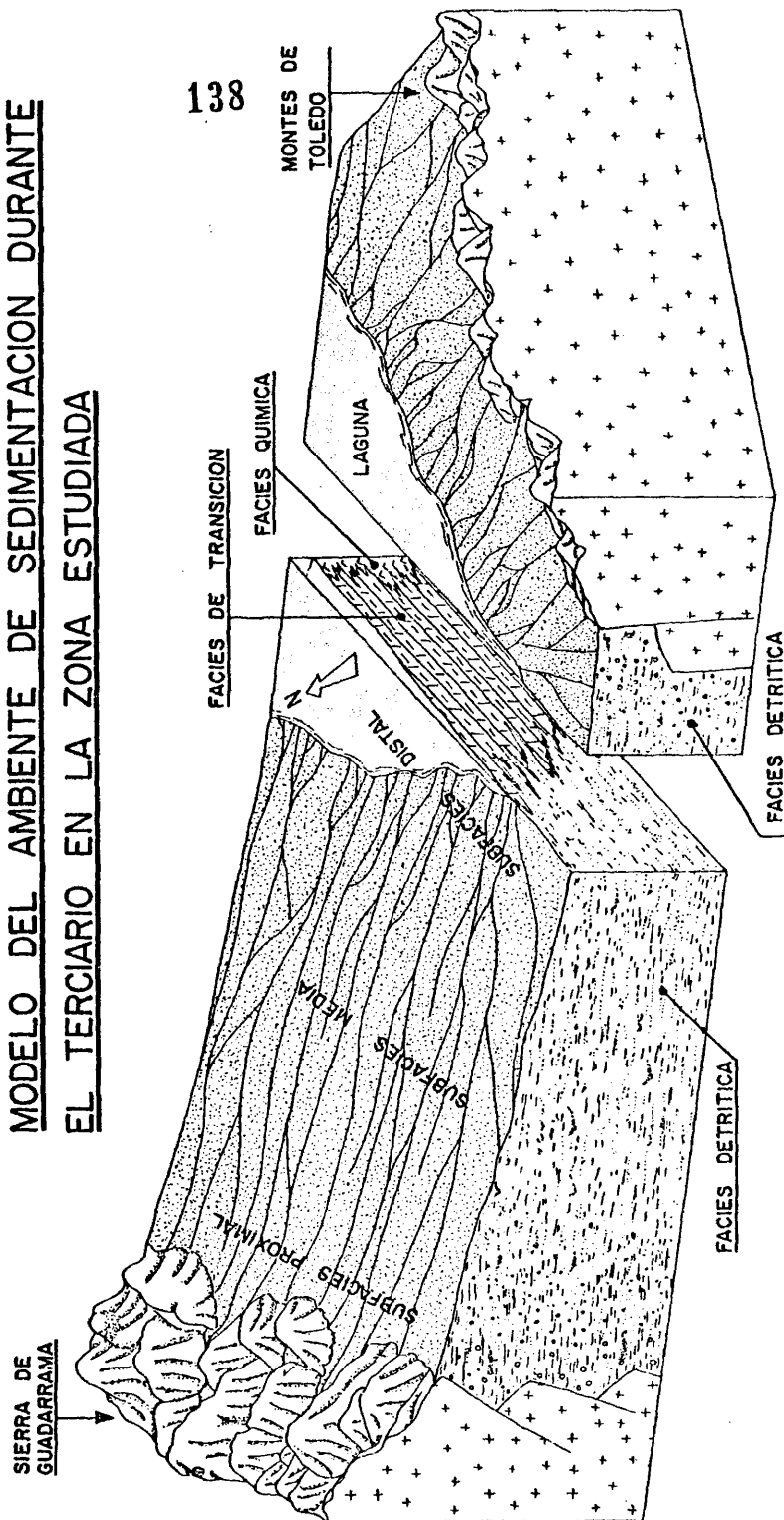


Fig. 3-24

Adaptado: REBOLLO L. (1977)  
Dibujado: J. M. ANGULO  
(Inspirado en BULL, W. B., 1971)

bable que se formaran unas pequeñas lagunas temporales que acabarían rellenándose de materiales finos (López Vera, F., 1.977).

Este modelo de medio sedimentario estaría vigente desde el episodio de sedimentación  $TM_0$  al  $TM_3$ ; cada uno de estos episodios correspondería a una etapa de deposición de sedimentos, en los que la diferente distribución espacial de sus características litológicas (Martín Escorza, C., 1.976) se reflejaría en las diversas unidades litoestratigráficas por nosotros consideradas.

Mc Gowen, J.H. y Groat, C.G. (1.971) denominan "Facies Proximal, Media y Distal" a los distintos sectores de un abanico aluvial; esta nomenclatura es adoptada por López Vera, F. (1.975 y 1.977) modificando el término facies por el de sub-facies, criterio que nosotros mantenemos. Estos tres sectores son también considerados por Selley (1.970) con la denominación de "Subfacies gruesas, de grano medio y de grano fino". Brevemente comentaremos las características de estas subfacies en la cuenca del Alberche :

a) Subfacies proximal. Corresponde a los sectores marginales de las unidades Cazalegas, Tosco y Navalcarnero, observándose más claramente en las dos últimas; son muy frecuentes las formaciones de bloques, más espectaculares en la Unidad Navalcarnero (Fig.3.22.) que en las Unidades Tosco (Fig.3.17.) y Cazalegas. No hemos llegado a observar esta sub-facies junto al contacto con los Montes de Toledo por quedar fuera de la zona estudiada, pero Rebollo, L. (1.977) opina que apenas están representadas por causa de la erosión posterior.

## 140

Este tipo de depósitos probablemente se debió a avalanchas, coladas de barro y corrientes sin encauzar y presentan una neta inclinación original más o menos perceptible.

b) Subfacies media. Los depósitos de esta subfacies se generan principalmente mediante láminas de inundación y corrientes de inundación -"sheet floods" y "stream floods", respectivamente en la literatura sajona- aunque también se producen flujos de barro -"mudflows-". Así se explican las principales características texturales y estructurales de esta subfacies :

- Las corrientes de inundación son responsables de los muy frecuentes paleocanales rellenos de gravas y arenas (Fig.3.25.); frecuentemente se observan niveles ferruginosos (Fig.3.26.), así como acumulaciones de materia orgánica (Fig.3.27.), acordes los primeros con el carácter subaéreo del depósito e indicadores adicionales los segundos de su deposición brusca y a impulsos : ambos fenómenos pueden estudiarse con mayor claridad en el fondo de los canales.

- Cuando los canales están rellenos de materiales samíticos es particularmente nítida la estructura de estratificación cruzada (Fig.3.28.); estos canales son utilizados localmente como areneros.

- Los depósitos de lámina de inundación ofrecen una granulometría más homogénea y uniforme (Fig.3.19.).

c) Subfacies distal. Corresponden a esta subfacies los depósitos más alejados del borde, fundamentalmente generados por flujos de barro, que dan lugar a la inexistencia de selección. Frecuentemente se interdigitan con sedimentos lagunares, brevemente representados



Fig.3.25.: Aspecto de un paleocanal relleno de gravas y arenas (Subfacies media). Carretera de Villanueva de Perales a la C-501, Km.2; Villanueva de Perales (Madrid).





Fig.3.26.: Niveles ferruginosos en el fondo de un paleocanal (Subfacies media). Alrededores de Villamanta (Madrid).



Fig.3.27.: Acumulaciones de materia orgánica, niveles ferruginosos y estratificación cruzada en un paleocanal relleno de arenas. Cra. M-403, Km.49,500; Escalona (Toledo).



Fig.3.28.: Estratificación cruzada y niveles ferruginosos. Carretera N-403, Km. 49,500. Escalona (Toledo).

en nuestra región de estudio por las calizas arenosas y silíceas del área Val de Santo Domingo-Barciencia; los materiales de las subfacies distal estarían representados por los materiales "de transición" (Unidad Torrijos del Mapa Litoestratigráfico) así como por los sectores más meridionales y septentrionales de las Unidades Tosco y Carpio, respectivamente.

#### 3.3.4.- Consideraciones sobre la edad de los materiales terciarios

Desde el punto de vista cronoestratigráfico, la única referencia fidedigna para los materiales terciarios de nuestra región de estudio está constituida por el yacimiento fosilífero de Torrijos, ya citado -aunque imprecisamente- por los autores antiguos (Prado, C., 1.864; Mallada, L. y Dupuy de Lome, E., 1.913)

cuyos restos fósiles se clasificaron como Mastodon Longirostris Kaup; recientemente Martín Escorza, C. y Hernández Enrile, J.L. (1.972) citan el hallazgo, en el mismo área, de restos de cérvidos y rinocerátidos que permiten asignar el yacimiento al Vindoboniense Inferior -o Langhiense inferior, de acuerdo con Aguirre et al (1.976)-, es decir a los primeros tiempos del Mioceno medio.

Puesto que el yacimiento se encuentra situado hacia el techo de la Unidad Torrijos, los tramos superiores de dicha unidad así como sus equivalentes de las Unidades Tosco y Cárpio y la Unidad Navalcarnero serían de edad Mioceno medio y superior. Por el contrario, las unidades subyacentes serían de edad Mioceno inferior.

Recientemente (Martín Escorza, C., 1.974) se ha sugerido que parte de los materiales clasificados inicialmente como miocenos (la Formación arcósica inferior  $M_1$ , de Martín Escorza, C. et al, 1.972) podrían ser de edad más antigua, posiblemente oligocenos; dentro de esta sugerencia entrarían los materiales de la Unidad Inferior -no aflorante- y de las Unidades Cazalegas y Malpica descritas por nosotros en anteriores epígrafes. Esta sugerencia se hace fundamentalmente en función de unas diferentes condiciones climáticas deducidas de la interpretación de unos niveles de espesor centimétrico de tonos rojizos y gris ceniza muy intensos como paleosuelos propios de regiones húmedas con estaciones contrastadas, niveles que el autor citado encuentra asociados sólo a estas unidades inferiores.

Nosotros admitimos la posible edad oligocena de estos materiales terciarios -modernos- inferiores, y

como tal hemos considerado tanto a las Unidades Cazalegas y Malpica (ver Plano n°1) así como a la no aflorante Unidad Inferior. Sin embargo nos parece oportuno hacer las siguientes consideraciones :

- a) No creemos que los citados N.R.G.C. correspondan a paleosuelos ya que ni siquiera corresponden a "niveles" en el estricto sentido de la palabra. Pensamos que estas curiosas estructuras tienen un origen post-sedimentario de tipo diagenético, por movilización geoquímica de los óxidos ferrosos y férricos contenidos en los minerales integrantes de la formación : es frecuente observar una nítida zonación, rojiza hacia el exterior y grisácea hacia el interior, en torno a los cantos graníticos y aplíticos, en trance de alteración, contenidos en la formación, tan íntima que a menudo es difícil delimitar el límite alterado de la roca de la banda gris circunscrita. Otras veces no se observa sino las dos bandas con aspecto grumoso, manteniéndose la misma disposición de gris hacia el interior y rojo hacia el exterior.

Puede ocurrir que la "superficie de discontinuidad" que supone el contacto entre dos paquetes sedimentarios correspondientes a sendas etapas sucesivas de aporte, actúe de "trampa", durante la diagénesis, de este material movilizado, indicando la banda rojiza el muro del aporte más reciente, a la que se superpone la banda gris; de ahí el aspecto de "niveles". (Fig.3.34).

- b) Es muy probable que el paleo-régimen de las aguas subterráneas contenidas en la formación sea el responsable en gran medida de estas estructuras.

- c) Aunque no puede decirse que esté asociado al límite septentrional de la depresión terciaria, puesto que se sigue observando en áreas algo distanciadas de él, sí parece que hacia dicho límite se incrementa el desarrollo y la frecuencia de este "bandeado" rojizo y gris -término a nuestro juicio más apropiado que el de "niveles"- así como la intensidad de la coloración. En nuestra opinión, además de observarse en la Unidad Cazalegas, materiales equivalentes a Unidad Inferior de Martín Escorza, C. (1.974), se observan también en los sectores marginales de la Unidad Tosco ( $M_1 + M_2$  del citado autor), aunque esta diferencia de criterio responde evidentemente a una distinta representación cartográfica de nuestras unidades y las del autor mencionado.
- d) Según López Vera, F. (1.977) el medio sedimentario de abanico aluvial ha estado vigente desde el Mioceno inferior; por otro lado ya hemos comentado que en nuestra opinión el medio de sedimentación ha sido el mismo desde el episodio  $TM_0$  al  $TM_3$ . Si consideramos que los episodios  $TM_0$  y  $TM_1$  corresponden al Oligoceno, es forzoso ampliar el ámbito de vigencia temporal de este medio sedimentario.
- e) No es congruente la hipótesis que defiende la génesis de estos posibles materiales paleógenos bajo condiciones climáticas húmedas con estaciones contrastadas, con la que mantiene que el medio de sedimentación de éstos responde igualmente a las características de un medio de abanico aluvial, puesto que según Blissenbach, E. (1.954), una de las condiciones necesarias para el desarrollo de éstos es la de un ambiente árido o semiárido.

Para finalizar este apartado diremos que el conjunto que denominamos como materiales terciarios antiguos, aflorantes en el área Quijorna-Valdemorillo, lo hemos considerado como Oligoceno inferior un tanto intuitivamente, por comparación con otros muy semejantes que afloran en el borde septentrional del Macizo Central (Ubanell, A.G., 1.978). Consideramos a este conjunto discordante con los materiales terciarios modernos pero posiblemente concordante -o pseudo concordante- con los materiales cretácicos de ese mismo área.

### 3.3.5.- Los materiales cuaternarios

No es nuestro propósito en este apartado hacer un estudio detallado de las formas y materiales engendrados durante los tiempos cuaternarios en la cuenca del Alberche; tan sólo tendremos en cuenta aquellos materiales de interés hidrogeológico, y de éstos sólo fijaremos la atención brevemente en sus propiedades hidrogeológicas.

Pocos antecedentes hay sobre los depósitos cuaternarios propiamente dichos de la región estudiada; las terrazas del Tajo entre Toledo y Talavera han sido estudiadas por Aranegui, P. (1.927) y Hernández Pacheco, E. (1.928) y recientemente por Alférez, F. (1.974); Shafic, S. (1.973) ha estudiado la relación entre el complejo de terrazas del Tajo y del Alberche allí donde el primero recibe por su margen derecha al segundo, región que nosotros estudiamos más tarde desde el punto de vista hidrogeológico (Sastre Merlín, A., 1.975); algunos procesos edáficos en las terrazas del Tajo son descritas por Vaudour, J. (1.975). Recientemente, Pedraza, J. (1.976) se ha ocupado de estos depósitos en un sector de la cuen

ca del Alberche.

#### 3.3.5.1.- Depósitos aluviales del Alberche

Están constituidos por gravas y arenas muy limpias, en una proporción más o menos próxima a un 40 % de gravas y 60 % de arenas; el tamaño medio de las gravas suele estar comprendido entre 10 y 20 cm.

En el área Aldea del Fresno - El Alamín, el espesor de esta unidad oscila entre 12 y 16 m. (pozos 580-4-60 y 580-4-61); en los alrededores de Escalona el espesor medio es del orden de 6 m. (García Vedoya, A., 1.933 a) (Plano 5.3.) espesor que se mantiene a la altura de la cola del embalse de Cazalegas (Antón Oneca, M., 1.935; Sastre Merlín, A., 1.975), de la presa de ese mismo embalse (García Vedoya, A., 1.932 b; Antón Oneca, M., 1.934 b; S.G.O.P., 1.960) (Plano 5.7.) y del puente de la N-V, muy próximo a la desembocadura del Alberche en el Tajo (Antón Oneca, M., 1.934 a) (Plano 5.9.).

El mayor espesor de estos depósitos a la altura de Aldea del Fresno - El Alamín es uno de los criterios tectónicos utilizados por Pedraza, J. (1.976) para definir la depresión de Aldea del Fresno - Almorox.

Son depósitos, en general, de una buena calidad para su explotación como graveras o areneros, dada su buena selección y lavado, a pesar de su no excesivo volumen, explotaciones que son frecuentes en todo el recorrido del Alberche (Fig.3.29.); a ello contribuye además la eclosión de urbanizaciones por toda la región de estudio y la cercanía de núcleos urbanos en continuo

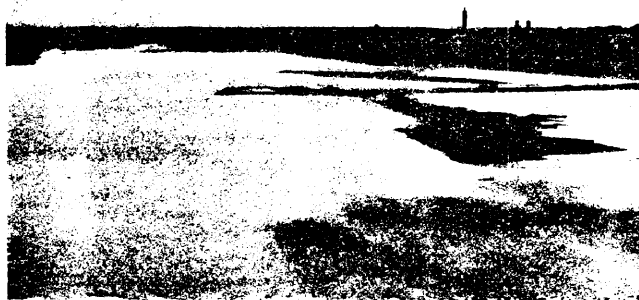


Fig.3.29.: Aspecto actual de la llanura aluvial del Alberche poco antes de su desembocadura en el Tajo. La explotación de estos depósitos ha provocado la destrucción parcial de la llanura aluvial, anegada por las aguas del río. Puente de la Carretera N-V; Talavera de La Reina (Toledo).

crecimiento, como Navalcarnero y -especialmente- Talavera de La Reina. Estas explotaciones, por lo que suponen de deterioro del paisaje y de alteración del perfil de equilibrio del río -con la erosión consecuente del suelo-, han provocado un continuo choque de intereses en la zona, llegando a producirse enfrentamientos violentos en algún caso, como los generados a raíz de los areneros del Arroyo Grande (Villamanta - Aldea del Fresno). Es muy posible que el curioso fenómeno que mostramos en la Fig.3.30. sea causado por estas explotaciones.



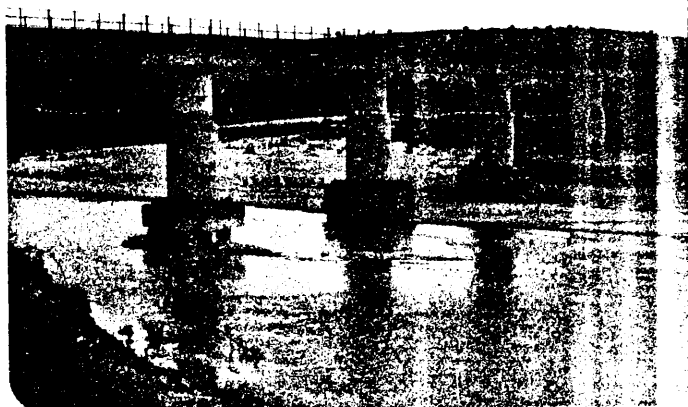


Fig.3.30.:Erosión de los depósitos aluviales del río Perales, manifestada en los pilotes del puente del ferrocarril del valle del Tiétar (desmantelado). Carretera Aldea del Fresno - Chapinería, Km.7,700; Aldea del Fresno (Madrid).

#### 3.3.3.5.2.- Depósitos aluviales del Tajo

Describiremos aquí brevemente las características más destacadas, para nuestros fines, de los materiales que integran la llanura aluvial del Tajo entre Malpica y Talavera de La Reina; una descripción más completa puede verse en un anterior trabajo nuestro (Sastre Merlín, A., 1.975).

La fracción gruesa está integrada principalmente por cantos de cuarcitas y cuarzo, aunque existen también cantos de caliza y granito; está engastada en una matriz samito-lutito-pelítica de cuarzo, cuarcita, feldespatos y minerales de arcilla, de proporciones variables tanto en su porcentaje respecto al de gruesos como

al de las diversas fracciones citadas entre sí.

Entre Malpica de Tajo y Bernuy el espesor de los depósitos aluviales oscila entre 6 y 8 m. (U.E.M. S.A., 1.964; Sastre Merlín, A., 1.975) (Plano 5.5.); entre Bernuy y Las Vegas de S. Antonio el espesor del aluvial está comprendido entre 10 y 14 m. (Plano 5.6. y 5.7.). Por último entre la desembocadura del Alberche y Talavera de La Reina el espesor medio es de unos 10 m. (S.G.O.P., 1.959; Sastre Merlín, A., 1.975). Una panorámica de la llanura aluvial del Tajo en su confluencia con el Alberche se muestra en la Fig.3.31.

#### 3.3.3.5.3.- Terrazas del Alberche y del Tajo.

Shaffic, S. (1.973) establece una secuencia de 11 niveles de terrazas para el río Tajo y 5 niveles para el río Alberche, en la zona de confluencia de ambos ríos. Empleando un criterio simplificador, hemos considerado los niveles de aterrazamiento agrupados en sólo tres, que hemos denominado "complejo de terrazas altas", "complejo de terrazas medias" y "complejo de terrazas bajas".

En la zona de confluencia Tajo-Alberche, donde mejor están representados estos complejos de terrazas, no parecen observarse fenómenos de encajamiento entre éstas (Shaffic, S., 1.973), por lo que puede deducirse una evolución morfológica bastante normal. Es frecuente observar también aquí, especialmente asociado a las terrazas altas, un importante desarrollo de costras calcáreas -caliches- (Fig.3.32. a y b), semejantes a las observadas por Vaudour, J. (1.975) en regiones más orientales de la Cuenca de Madrid.

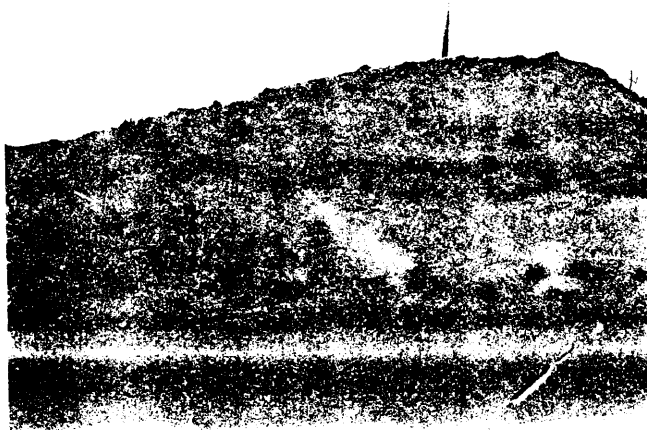
152



Fig.3.31.: Aspecto de la llanura aluvial del Tajo en la zona de confluencia con el Alberche. Cerro de Santa María; Pueblanueva (Toledo).



a



b

Fig.3.32.: Costras calcáreas asociadas a los niveles de terrazas altas.a): Carretera N-V, Km.105,900; b) : Granja Vicasán, Km.101,500 Carretera N-V. Cazalegas (Toledo).

## 154

Sin embargo, en el área Aldea del Fresno - El Alamín, Pedraza, J. (1.976) observa tectonizadas las terrazas del Alberche, fenómeno que es atribuido por el autor al juego de la depresión Aldea del Fresno - Almorox.

En cualquier caso, el principal interés hidrogeológico de estos complejos de terrazas radica en facilitar y retener el agua de infiltración procedente de las precipitaciones; una vez retenida, el agua pasa a recargar muy lentamente los materiales terciarios, aunque suelen aparecer también pequeños manantiales en el contacto de éstos con aquéllos. En las terrazas altas, dado que suelen coincidir con extensas superficies morfológicas (Fig.3.33.) esto que decimos debe ser más acusado.



Fig.3.33.: Superficie morfológica de la terraza alta del Alberche. Camino de El Alamín a la N-403; Almorox (Toledo).

CAPITULO 4

LOS MATERIALES.COMPORTAMIENTO HIDRAULICO

#### 4.- LOS MATERIALES. COMPORTAMIENTO HIDRAULICO

Continuando con el estudio de los materiales, realmente el "soporte físico de los procesos hidrogeológicos" (López Vera, F., 1.975), pretendemos en este capítulo definir, en primer lugar, las grandes unidades hidrogeológicas de la región estudiada, separando definitivamente a las que carecen de interés desde el punto de vista del flujo de las aguas subterráneas. Seguidamente comentaremos el comportamiento hidráulico de los denominados por nosotros "materiales terciarios modernos" : primeramente se analizará la influencia que, sobre la distribución espacial de algunos de sus parámetros hidráulicos, ha ejercido el medio de sedimentación de dichos materiales; en segundo lugar expondremos la metodología utilizada en la interpretación de las curvas descenso-tiempo deducidas de los ensayos de bombeo realizados en pozos emplazados en esta unidad, proponiendo un sencillo modelo cuya validez se ha comprobado en toda la zona estudiada; a continuación se comentarán las características geométricas de las unidades litoestratigráficas integrantes de la unidad hidrogeológica terciaria, ajustándose seguidamente los parámetros hidráulicos obtenidos por métodos clásicos; por último se sintetizan los parámetros hidráulicos que diversos autores han calculado por métodos de laboratorio.

Para finalizar el capítulo, se analizarán las características hidráulicas de aquellos materiales cuaternarios que, fundamentalmente de origen fluvial, tapizan el fondo de los valles del Alberche y del Tajo constituyendo la llanura aluvial actual y el complejo de terrazas bajas.

#### 4.1.- DEFINICION DE LAS GRANDES UNIDADES HIDROGEOLOGICAS DE LA REGION ESTUDIADA. JUSTIFICACION Y RELACIONES ENTRE ELLAS.

Ya en el capítulo anterior comentábamos que las áreas elevadas de la Meseta (Sistema Central y Montes de Toledo) eran dos de los límites de nuestra región de estudio. Se perfila de este modo la primera gran unidad hidrogeológica : los macizos cristalinos, integrantes de las Sierras de Guadarrama y Gredos al N. y del sector medio de los Montes de Toledo al S. Por su neto carácter impermeable -"acuífugo"- carece de interés desde la óptica global de nuestro estudio. No obstante, a favor de las fracturas y zonas de alteración puede desarrollarse una porosidad y permeabilidad suficiente para permitir pequeñas explotaciones de agua subterránea de hasta 1 l/seg. (S.G.O.P., C.A.T. y E.N.A.D.I.M.S.A., 1.976); la utilidad que un estudio geomorfológico y tectónico de detalle puede tener en la ubicación de captaciones en esta unidad puede verse en Pedraza et al. (1.976).

Dentro de la cobertura agrupamos en una sola unidad hidrogeológica los materiales cretácicos de Valde morillo y los denominados por nosotros "materiales terciarios antiguos"; los primeros presentan una superficie de afloramiento de tan solo unos 2 Km<sup>2</sup>, mientras que la de los segundos es de unos 10 Km<sup>2</sup> (ver plano n°1). En el corte geológico I-I' del plano n°2, así como en el plano 3.1 pretendemos mostrar nuestra opinión sobre la disposición estructural de esta unidad : como puede verse, se trataría de pequeños retazos ya de materiales cretácicos, ya de "materiales terciarios antiguos" o de ambos a la vez cuya existencia se debería a que habrían quedado "cobijados" entre el juego de bloques del basamento, que es en esencia la tónica de deformación alpina en esta región; la naturaleza inversa del juego de frac-



turas favorece aún más esta hipótesis. Una disposición semejante suponemos para las calizas con sílex localizadas mediante sondeos de reconocimiento en las proximidades de Talavera de La Reina (ver capítulo 3).

La reducida extensión de afloramiento de esta unidad, su carácter permeable -ya por porosidad primaria en el caso de las arenas arcillosas, ya por porosidad secundaria (fisuración) en el caso de las calizas- frente a la impermeabilidad de los materiales cristalinicos sobre los que descansa, a la vez que sus presumiblemente distintos parámetros hidráulicos respecto de los materiales terciarios modernos que lo limitan lateralmente y que incluso llegan a ocultarla en discordancia angular (Fig.3.8) -decimos presumiblemente porque tales parámetros no han podido ser acotados por falta de datos-, son en esencia los criterios arguidos por nosotros para diferenciar esta primera gran unidad hidrogeológica de la cobertera, que también es considerada por Rebollo, L. (1.977) en la cuenca vecina del Guadarrama, y al igual que el citado autor, dado su reducido afloramiento y la carencia de datos que de ella tenemos, no la vamos a considerar en este capítulo, lo que no quiere decir que a nivel local sean despreciables sus posibilidades.

La segunda y más importante unidad hidrogeológica de la cobertera está integrada por los "materiales terciarios modernos". Su superficie de afloramiento en la cuenca hidrográfica del Alberche está muy próxima a los 1.300 Km<sup>2</sup>. Tal conjunto de materiales representan el relleno, durante el Terciario medio y superior, de la llamada Depresión del Tajo, en un ambiente de sedimentación continental en el que se reconocen -al menos desde el Oligoceno Superior- estructuras típicas de abanicos

aluviales. Basándonos en Cadavid, S. (1.977), en los cortes geológicos I-I' y II-II' del plano n°2 representamos la topografía de una superficie que presenta un contraste de densidad de  $-0,4 \text{ gr/cm}^3$  y que ha sido identificada por el citado autor como el techo del zócalo de la depresión o, lo que es lo mismo en nuestro caso, como el muro de esta unidad; desgraciadamente el citado trabajo solo alcanza aproximadamente la cuarta parte de la región estudiada por nosotros.

Inmediatamente se plantea la duda de si dicha superficie responde al techo del basamento cristalino o simplemente al zócalo de la depresión terciaria, -las calizas cretácicas-; en este segundo caso cabría preguntarse que ocurriría entre las citadas calizas y el basamento : ¿se encontrarían solo las facies "Utrillas", como se observa en Valdemorillo, o se encontraría también la serie jurásica?

Limitándonos al análisis de la geometría de la unidad terciaria, se puede observar la sucesión de máximos y mínimos de espesor en función de la existencia de depresiones y umbrales, respectivamente, en el zócalo. Así, en el área Brunete-Sevilla La Nueva-Villamantilla (sub-fosa de Brunete, según Cadavid, S., 1.977), el espesor de los materiales terciarios alcanza los 2.500 m. y unos 500 m. en la depresión de Aldea del Fresno-Almorox (Pedraza, J., 1.976), perfectamente caracterizada; en la depresión de El Alamo el espesor de esta unidad es algo menor, unos 2.000 mts., al igual que en el área Villanueva de la Cañada-Quijorna. El espesor se reduce a solo 500-750 mts. en el área Navalcarnero-Villamanta, coincidiendo con una zona elevada del zócalo, que nos hemos permitido denominar "Umbral de Navalcarnero".

Nuestra suposición ya esbozada acerca de la relación entre los "materiales terciarios antiguos" y los "materiales terciarios modernos" (ver apartados 3.3.2 y 3.3.4.) se reafirma ante el análisis de las descripciones litológicas de los materiales atravesados durante la construcción de los pozos 558-5-19 y 558-6-37 : la serie atravesada es perfectamente correlacionable con la de los demás sondeos próximos emplazados, ya sin duda, sobre los "materiales terciarios modernos", tal como indicamos en el plano 3.2. Por el contrario, las descripciones litológicas citadas antes no se parecen en nada a los cortes que los "materiales terciarios antiguos" ofrecen en el campo. Desgraciadamente carecemos de la columna litológica del pozo 558-5-9 (ver plano n°2, corte I-I') que podría ser el argumento definitivo para corroborar esta hipótesis.

La última unidad hidrogeológica que se va a considerar son los depósitos aluviales recientes y terrazas bajas del río Alberche y del Tajo entre El Carpio de Tajo y Talavera de La Reina. Sus características hidráulicas son suficientemente diferentes (espesor, espesor saturado, porosidad, permeabilidad, etc.) de las de la unidad anterior como para permitir esta distinción. Así pues, de estas dos unidades -"materiales terciarios modernos" y depósitos aluviales actuales- pasamos a estudiar a continuación sus parámetros hidráulicos.

#### 4.2.- COMPORTAMIENTO HIDRAULICO DE LOS MATERIALES TERCIARIOS MODERNOS.

##### 4.2.1.- Introducción

De acuerdo con Blissenbach, E. (1.954) los depósitos de abanico aluvial, generados principalmente por

corrientes y láminas de inundación y flujos de barro, son, en términos hidrogeológicos, "acuíferos" y "acuicludos" alternativamente.

Los depósitos de flujos de barro, aunque pueden tener una porosidad alta -recuérdese que las arcillas suelen tener una porosidad total superior a las arenas- suelen comportarse como "acuicludos ideales" al decir de Blissenbach, E. (1.954), ya que los huecos intersticiales son tan pequeños que apenas permiten el paso del agua. En el mejor de los casos, su comportamiento podría asimilarse a un "acuitardo".

Por el contrario, los depósitos generados por corrientes de inundación suelen comportarse como "acuíferos" en el sentido estricto de la palabra, ya que, junto a una porosidad elevada, los intersticios presentan un tamaño suficientemente grande, permitiendo el movimiento del agua subterránea.

Así pues, nuestro concepto de esta unidad hidrogeológica es, a grandes rasgos, el de un conjunto de materiales "acuíferos", integrados por gravas y arenas más o menos arcillosas que se identifican como rellenos de canal (López Vera, F., 1.977 B), dentro de un conjunto arcilloso o arcillo-arenoso que se comporta como "acuicludo" o "acuitardo", respectivamente.

#### 4.2.2.- Influencia del medio sedimentario : análisis de la distribución espacial de caudales específicos

El caudal específico -o capacidad específica- de un pozo, definido como el cociente entre el caudal de bombeo y el descenso del nivel del agua dentro del

pozo, es un parámetro de relativamente fácil obtención directa durante la elaboración del Inventario de puntos de agua. En principio su valor no es constante para un determinado caudal, pues los descensos crecen con el tiempo de bombeo; sin embargo los descensos tienden a estabilizarse, ocurriendo lo mismo con el caudal específico (Custodio, E. en Custodio y Llamas, M.R., 1.976) : en lo que sigue, al hablar de los valores de caudal específico deberá entenderse que se han obtenido con el nivel del agua estabilizado -o prácticamente estabilizado- para un determinado caudal de bombeo. Al aumentar el caudal de bombeo disminuye el caudal específico dado que se incrementan las pérdidas de carga globales como se verá más adelante.

Dos grupos de factores determinan el valor del caudal específico de un pozo : de un lado las características de la formación geológica sobre las que el pozo se emplaza y de otro las del pozo en sí (Llamas, M.R. y Molist, J., 1.968). Teniendo en cuenta el primer grupo de factores, diversas fórmulas han sido propuestas para relacionar el caudal específico de un pozo con la transmisividad -o transmisibilidad-, (definida como la capacidad de un medio para transmitir agua); quizá una de las más conocidas sea la de Logan, J. (1.964), recogida en Davis, S.N. y De Wiest, R. (1.971) :

$$T = 1,22 \cdot \frac{Q}{s}$$

siendo T la transmisividad, Q el caudal de bombeo y s el descenso producido en el interior del pozo de bombeo. Quizás habría que decir que la mayoría de las fórmulas de este tipo citadas en la bibliografía han surgido al estudiar hidrogeológicamente una determinada región o

un determinado acuífero, por lo que su aplicación específica queda constreñida a esa región o acuífero.

La relación entre el caudal específico y las características propias de las captaciones de la región estudiada se analiza en el capítulo 11.

En cualquier caso, el citado parámetro se ha revelado como un buen indicador de la influencia que el medio de sedimentación ha ejercido sobre la distribución espacial de los parámetros hidráulicos de los "materiales terciarios modernos"; pueden citarse al respecto Llamas, M.R. y López Vera, F. (1.975), López Camacho, B. (1.975), López Vera, F. (1.975), Rebollo, L. y Villarroya, F. (1.976), Villarroya, F. y Rebollo, L. (1.976) y Rebollo, L. (1.977).

En el presente trabajo y para la unidad hidrogeológica que estamos comentando se han obtenido 172 valores de caudales específicos de pozos, casi todos "entubados", esto es, pozos contruídos por procedimientos mecánicos (percusión y rotación directa o inversa); la media es de 0,19 l/seg/m. y la mediana 0,13 l/seg/m.; la desviación típica es de 0,23 l/seg/m. La distribución de frecuencias de la Fig.4.1 es muy semejante a la obtenida por otros autores en las cuencas del Guadarrama (Rebollo, L., 1.977), Manzanares (Martínez, P.E., 1.977), Jarama (López Vera, F., 1.975) y Henares (Villarroya, F., 1.977); el ajuste a una distribución logarítmico-normal, para un nivel de significación del 95%, ha sido comprobado por el primero de los autores citados para la colindante cuenca del Guadarrama, por lo que suponemos que se cumple también para la cuenca del Alberche, dada la similitud de ambas distribuciones.

# DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE LOS CAUDALES ESPECIFICOS (172 valores)

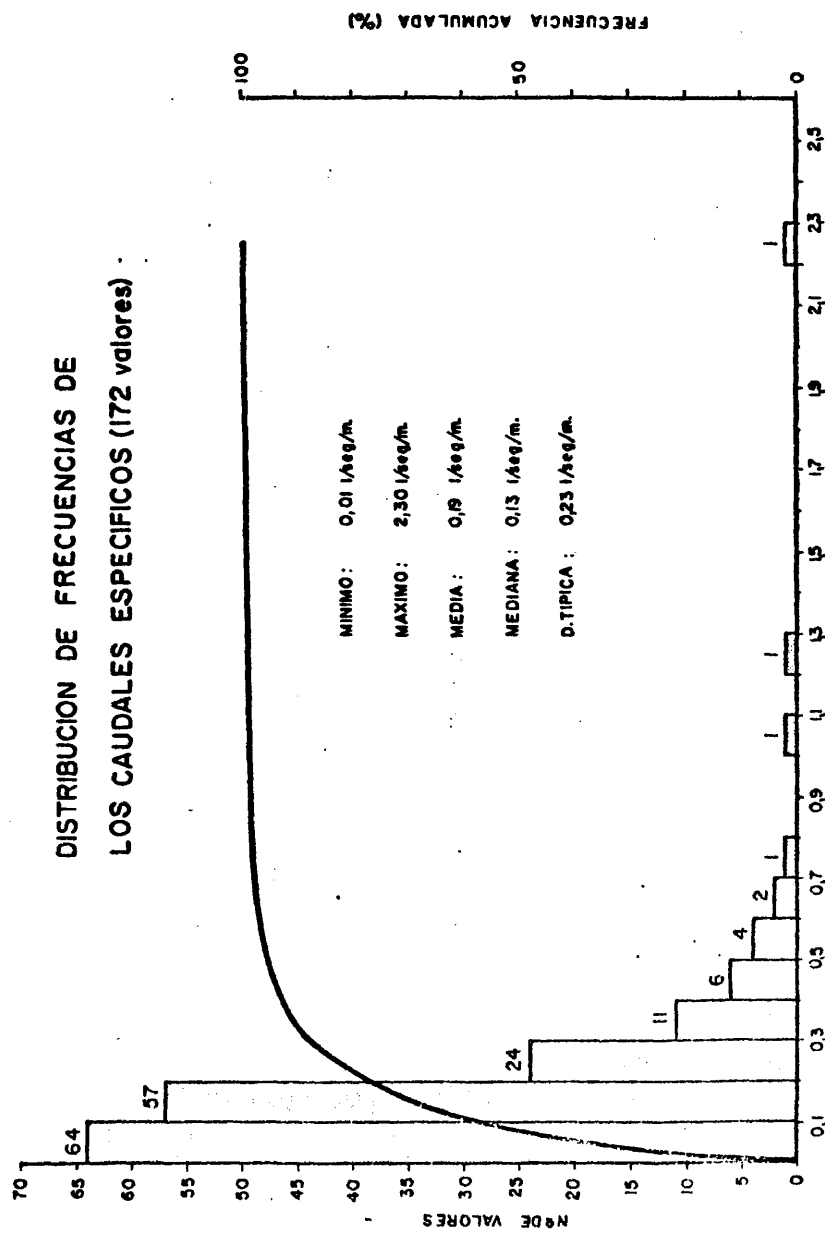


FIG. 4-1

La distribución espacial de los citados 172 valores de caudales específicos se muestra en el plano nº4; considerando el valor de 0,2 l/seg/m. como "umbral" de separación, la aparente distribución al azar se puede ordenar en dos zonas : la primera de ellas, donde la casi totalidad de los pozos presentan un caudal específico inferior a 0,2 l/seg/m. -tan solo cinco superan los 0,25 l/seg/m. y de ellos solo dos lo hacen de forma apreciable-, orla el contacto de neta dirección NE-SW entre el macizo cristalino septentrional y el conjunto terciario a distancia variable, y posteriormente se dispone sub-paralelamente al contacto de direcciones E-W entre esta misma unidad y el macizo cristalino de Montes de Toledo. La segunda zona, donde la casi generalidad de los pozos superan los 0,2 l/seg/m. de caudal específico, se dispone hacia el interior de la cuenca terciaria, acunándose al N. de Cebolla.

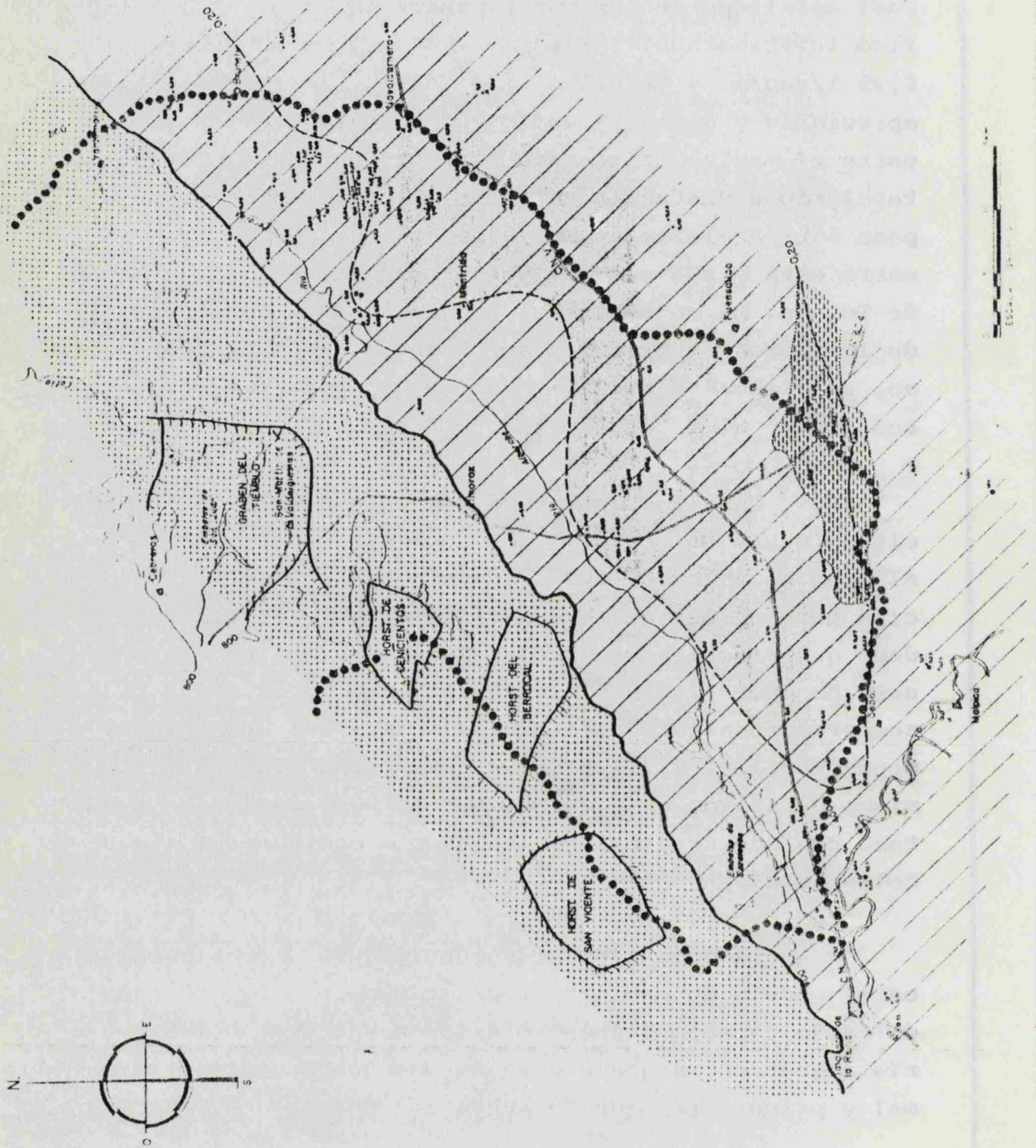
Cabría comentar un poco más detalladamente el citado mapa. En primer lugar debemos aclarar que hemos elegido el valor de 0,2 l/seg/m. como umbral de separación por estimar que era suficientemente significativo, dado que prácticamente coincidía con el valor medio observado (0,19 l/seg/m.); además, este valor nos permitía comparar nuestra cuenca con la vecina del Guadarrama, donde Rebollo, L. (1.977) ha considerado también este mismo umbral de separación. De tal comparación ha resultado una muy aceptable coincidencia entre ambos mapas colindantes.

La comentada distribución encaja perfectamente en el modelo de medio sedimentario propuesto. La franja de caudales específicos inferiores a 0,2 se correspondería a grandes rasgos con la denominada subfacies proximal y primer tramo de la subfacies media, donde la gran



LEYENDA

- Pais empujado en materiales terciarios. Valor de caudal específico en  $l/m^2/m$ .
- 0.20- Límite de 0.20  $l/m^2/m$  de caudal específico.
- Caudal específico mayor que 0.20  $l/m^2/m$ .
- Caudal específico mayor que 0.20  $l/m^2/m$ .
- Valor del caudal específico superior a 0.25  $l/m^2/m$  en zonas de caudal específico menor que 0.2  $l/m^2/m$ .
- Valor del caudal específico superior a 0.5  $l/m^2/m$  en zonas de caudal específico menor que 0.2  $l/m^2/m$ .
- Pais empujado en materiales cuaternarios. Valor del caudal específico en  $l/m^2/m$ .
- Zonas
- Materiales terciarios. Figuras detalladas.
- Materiales terciarios. Facies más o de transición.
- Tramite hacia la zona detritica o a facies de Transición.
- Límite de la zona terciaria y de la zona de estudio.
- Distancia hidrográfica. Límite de la zona de estudio.



DISTRIBUCION ESPACIAL DE LOS CAUDALES ESPECIFICOS

FECHA: ENERO 1978	ESCALA: 1:200 000
PROYECTO: ANTONIO CASTRO	DISEÑO: J. M. ALONSO

heterogeneidad del sedimento y la inexistencia en él de granoselección son responsables del bajo rendimiento de las captaciones : en apoyo de esta hipótesis diremos que entre el trazado del río Alberche -y posteriormente el Perales- y el contacto con el macizo cristalino septentrional (ver plano nº4) no conocemos ningún pozo cuyo caudal específico supere el valor de 0,1 l/seg/m.

La franja de caudales específicos superiores a 0,2 l/seg/m., se correspondería con el segundo tramo de la subfacies media y primer tramo de la subfacies distal; como los depósitos de este sector del abanico aluvial se generarían principalmente mediante láminas de inundación y corrientes de inundación, es factible una cierta granoselección del sedimento y ahí la mejoría del rendimiento de las captaciones. No obstante, la configuración de la cuenca hidrográfica del Alberche hace que la zona óptima quede desplazada hacia la cuenca del Guadarrama. En los alrededores de Cebolla, donde la isolínea de 0,2 l/seg/m. abandona el paralelismo al límite septentrional para adoptar la misma disposición respecto a los Montes de Toledo, es precisamente donde hemos supuesto la interdigitación entre los materiales detríticos procedentes de uno y otro macizo cristalino. Puede observarse como en el área citada (N. de Cebolla) y dentro de la zona de caudal específico superior a 0,2 l/seg/m. se observa un alto número de pozos cuyo caudal específico es inferior a 0,15 l/seg/m., reflejo, a nuestro parecer, de tal interdigitación.

Las facies mixtas de los alrededores de Torrijos no parecen ejercer apenas control sobre los caudales específicos de los pozos; en principio habría que pensar que hacia la zona axial de la cuenca los caudales específicos tenderían a disminuir de nuevo, en función del

incremento en materiales de granulometría fina; la inexistencia de este fenómeno podría justificarse si se considera en primer lugar el carácter "tectónico" de las aludidas facies mixtas : ya se ha hecho mención de la coincidencia de esta facies con un marcado "bajo magnético" en el basamento (Hernández, E., 1.974), lo que justificaría una brusca transición a la "laguna" sin pasar por las subfacies distales típicas; en segundo lugar, si tenemos en cuenta la proximidad del acuífero de la zona de caudal específico superior a 0,2 l/seg/m., no habrá que esperar la gradación aludida.

Para finalizar este apartado, llamaremos la atención sobre la concavidad descrita por la isolínea de 0,2 l/seg/m. entre Villamanta, confluencia Perales-Alberche y Mérida. Tal aproximación al macizo cristalino podría estar relacionada con el juego de la "fosa del Tiemblo", ya sugerida por Birot, P. y Solé, L. (1.954) y cuya delimitación reciente nos ha sido amablemente cedida por Ubanell, A.G. (1.978); de acuerdo con esto, la convexidad subsiguiente podría relacionarse con el "Horst de Cenicientos" (Ubanell, A.G., 1.978). Esto, de ser así, implicaría que las citadas mega-estructuras serranas existirían ya para los tiempos en que se generaron estos sedimentos terciarios.

#### 4.2.3.- Implicaciones hidráulicas del modelo de sedimentación : la interpretación de los ensayos de bombeo.

##### 4.2.3.1.- Algunas precisiones

No es objeto de nuestro estudio proponer un modelo detallado y completo para la interpretación de los ensayos de bombeo realizados en los pozos que interesan los materiales terciarios de facies detrítica de

la Cuenca de Madrid. Sin embargo expondremos algunas observaciones que hemos podido efectuar durante la interpretación de los 27 ensayos de bombeo (19 ensayos de bombeo propiamente dichos y 8 ensayos de recuperación) con que hemos contado, amablemente cedidos por determinadas empresas -Vegarada, Rodio-, u organismos -S.G.O.P., I.N.C. (YRIDA)- o los mismos propietarios de las captaciones, o bien realizados por nosotros mismos; las citadas observaciones nos han inducido a adoptar un sencillo modelo de interpretación cuya validez se ha comprobado en toda la región de estudio y zonas aledañas. Los partes de los citados ensayos se incluyen en el Anexo n°4.

La siguiente precisión que es forzoso hacer notar es que, muy a nuestro pesar, no disponemos en ningún caso de más medidas de descenso que las observadas en el propio pozo de bombeo. En tales condiciones solo es posible, en lo que a parámetros hidráulicos se refiere, hacer una estimación de la transmisividad del acuífero, obtener un conjunto de datos preliminares sobre él (drenaje diferido, semiconfinamiento, etc.) y acotar un primer valor de la eficiencia del pozo (Custodio, E. en Custodio, E. y Llamas, M.R., 1.976). Además, en gran parte de los ensayos, los datos no tienen demasiada calidad en función de un caudal de bombeo variable y discontinuo, poca precisión en la medida del nivel del agua en el pozo, escala de tiempos poco apropiada, etc. Llamas, M.R. y López Vera, F. (1.975) ya mostraron su escepticismo en cuanto al número y calidad de los ensayos hidráulicos de que podría disponerse en cada una de las cuencas de la región de Madrid.

#### 4.2.3.2.- El efecto de pozo incompleto y el de anisotropía.

Ante el importante espesor que presenta la unidad terciaria, (ver plano n°2), todos los pozos inventariados en nuestro estudio responden en esencia a pozos incompletos; la consecuencia de esto es que ante un determinado caudal de bombeo, la concentración de líneas de corriente en las proximidades del pozo origina velocidades del agua mayores que las que resultarían con ese mismo caudal de bombeo si el pozo fuera completo -es decir, si la zona filtrante abarcara la totalidad de la unidad terciaria-, de donde se sigue que los descensos producidos son mayores en el primer caso que en el segundo. Este efecto no puede ser despreciado, sobre todo cuando, como en nuestro caso, no disponemos de medidas en puntos de observación distintos del propio pozo bombeado; al menos diremos que todos ellos pueden considerarse "sumideros lineales" de acuerdo con Custodio, E. (en Custodio, E. y Llamas, M.R., 1.976). A pesar de lo dicho, el análisis del efecto de los pozos incompletos no va a considerarse en nuestro trabajo, dado que supera los objetivos que nos hemos propuesto.

Otro efecto de la mayor importancia -esta vez imputable a la formación- es el de anisotropía : no sería extraño que en este tipo de sedimentos el cociente entre la permeabilidad horizontal y la vertical estuviera comprendido entre 10 y 100. El tema merece desde luego un estudio detallado, como recientemente ha recalcado López Camacho, B. (1.977). Este efecto es particularmente importante en el caso de pozos incompletos y en acuíferos libres, es decir, allí donde no puede despreciarse la componente vertical de velocidad (Custodio, E. en Custodio, E. y Llamas, M.R., 1.976). Sin embargo tam-

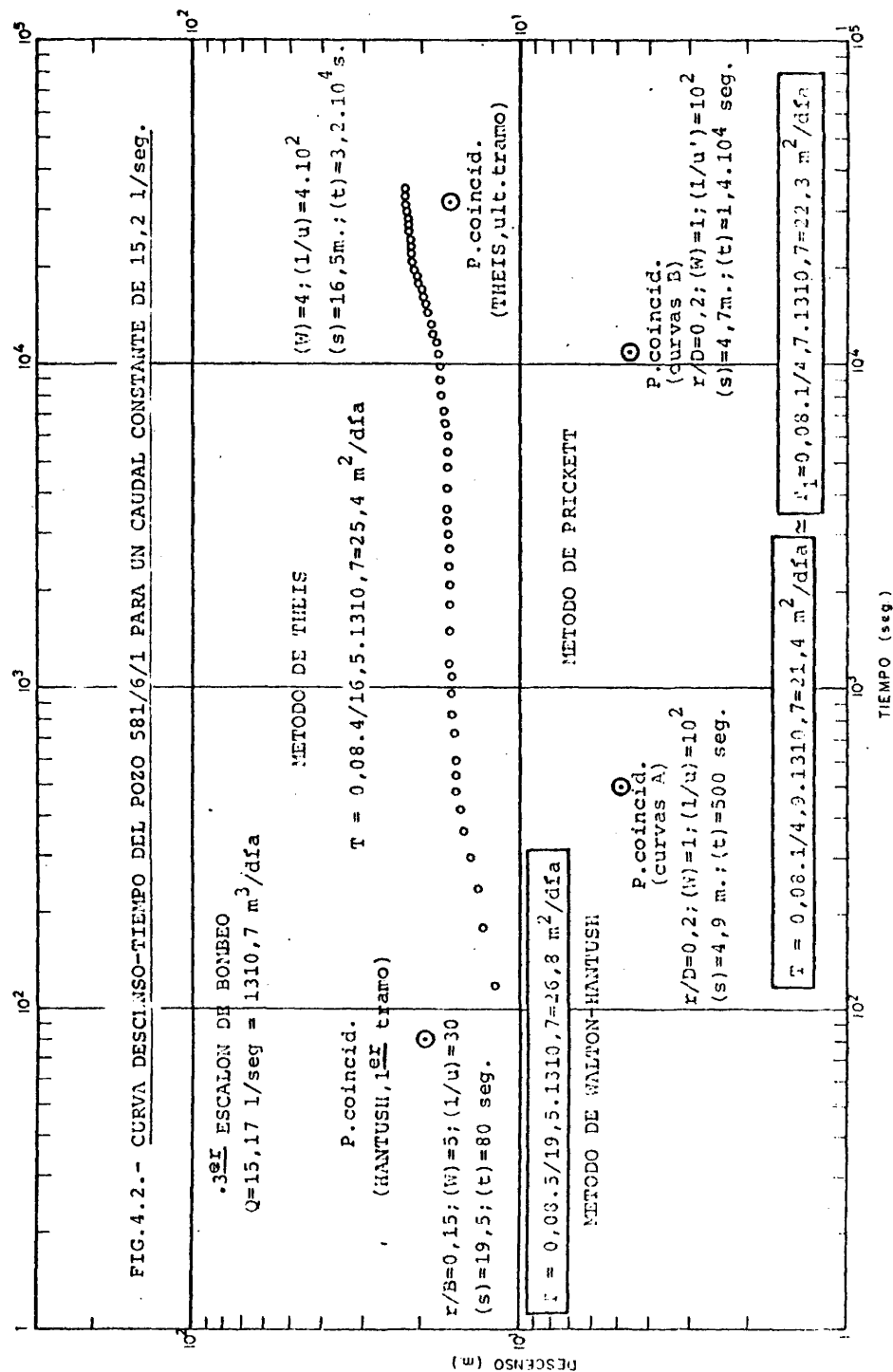
## 171

poco vamos a considerar el efecto de anisotropía en la interpretación de los ensayos de bombeo, principalmente porque en el cálculo de transmisividades, como es nuestro caso, se pueden conseguir valoraciones aceptables sin tenerlo en cuenta; no ocurriría lo mismo para el coeficiente de almacenamiento, donde al despreciar este efecto se obtendrían valores notablemente menores que los reales (Custodio, E., op. cit.).

#### 4.2.3.3.- El modelo de drenaje diferido

Ante el modelo de comportamiento hidráulico que se ha supuesto (ver epígrafe 4.2.1.), basado en el medio sedimentario, parece en principio lógico admitir que sean las fórmulas de acuífero semiconfinado las más adecuadas para la interpretación de las curvas descenso-tiempo : en los primeros momentos del bombeo los descensos se producen como si el acuífero fuera perfectamente cautivo, es decir, siguiendo la conocida curva de Theis; no obstante se producirá una percolación de agua subterránea hacia el lentejón o lentejones que son atravesados por el pozo en cuestión, procedente bien de otros lentejones a través del acuitardo, bien del propio acuitardo. Este es el modelo propuesto por López Vera, F. (1.975).

Nosotros, sin embargo, hemos observado como en la prácticamente totalidad de las curvas descenso-tiempo analizadas se pueden definir efectos de drenaje diferido. Un buen ejemplo puede verse en la Fig.4.2 : se trata de un pozo de 120 m. de profundidad con el nivel estático a 64 mts. Se bombeó el pozo con un caudal constante de 15,2 l/seg., efectuándose la primera medida de descenso a los 120 seg. de iniciado el bombeo : desde los 120 a



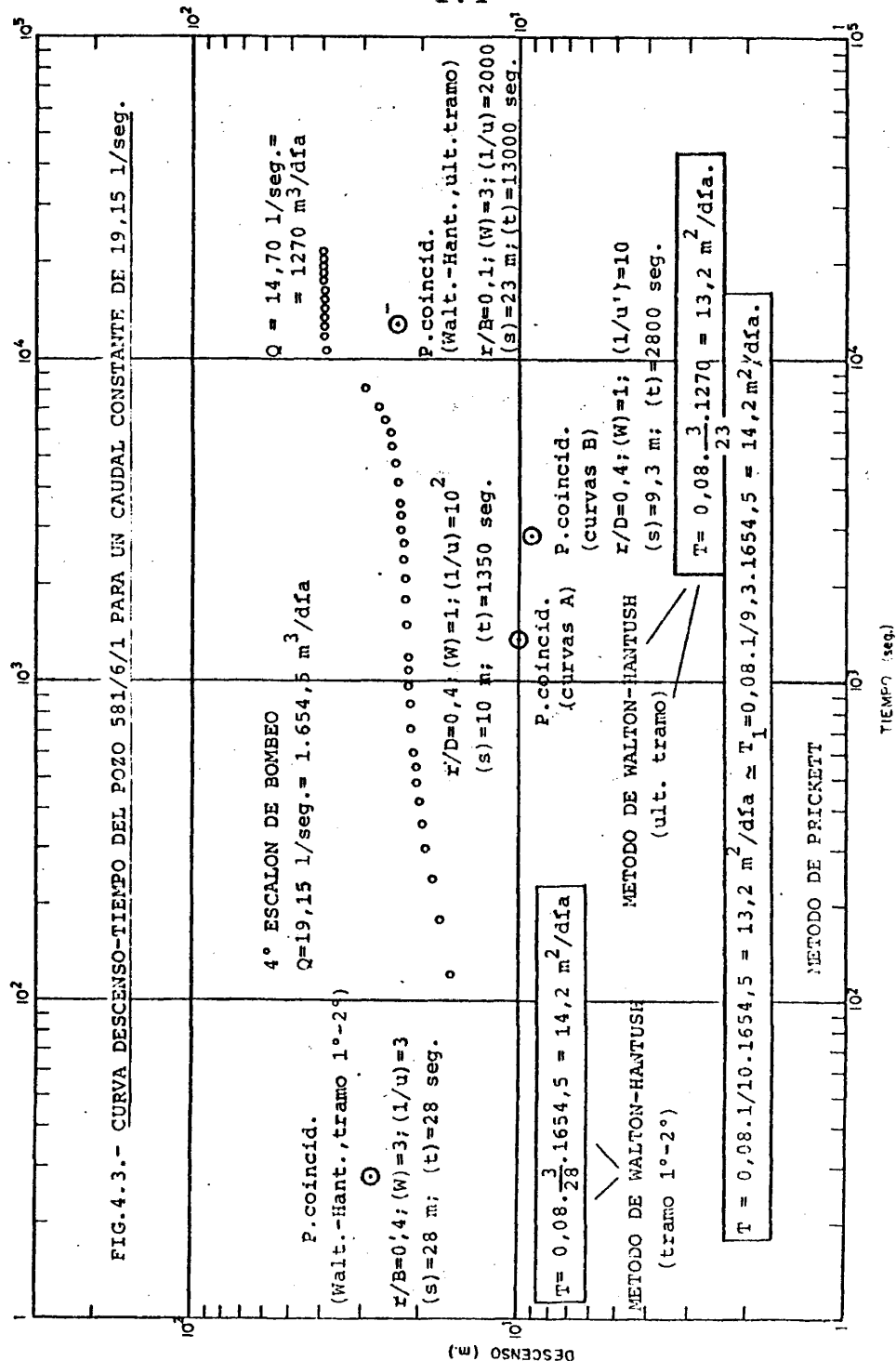
los 540 seg. se observa como aquél va incrementándose; entre los 540 y los 1.900 seg. el nivel dinámico del agua dentro del pozo se mantiene prácticamente constante; a partir de este momento los descensos vuelven a incrementarse, adaptándose a la curva de Theis.

En la Fig. 4.3 se muestra la curva descenso-tiempo obtenida bombeando el citado pozo con un caudal de 19,15 l/seg. : la curva es semejante a la anterior diferenciándose de ella en la menor duración del episodio de niveles estables, aparte de la magnitud absoluta de los descensos. En el tramo final parece iniciarse ya un efecto de semiconfinamiento, y como tal se ha interpretado, aunque la disminución del caudal de bombeo (de 19,15 a 14,70 l/seg.) contribuye sin duda a esta disposición de la curva.

Si el mismo pozo 581-6-1 es bombeado con un caudal de 6,2 l/seg. (Fig.4.4) (1<sup>er</sup> escalón de bombeo) no sólo no se observa el primer tramo ascendente sino que desde los 120 seg. a los 1.200 el nivel del agua en el pozo no solo no desciende ante el bombeo sino que llega a experimentar un ligero ascenso; durante todo el tiempo que dura esta etapa del bombeo (13.800 seg.) no se salió del episodio de niveles estables.

Al aumentar bruscamente el caudal de bombeo a 10,6 l/seg. se observa un igualmente brusco e instantáneo aumento del descenso, de modo que entre los 120 y 300 seg. apenas se observa ya eco de aquél, alcanzándose rápidamente el episodio de niveles estables, del que sólo a partir de los 7.200 seg. empieza a salir la curva.







## 176

Boulton, M.S. (1.954), citado por Custodio, E. (op.cit.), es el primero en formular la compleja ecuación que rige el movimiento del agua subterránea bajo el efecto de drenaje diferido. La fórmula que el citado autor propone no sólo es válida para acuíferos libres sino también para acuíferos confinados con intercalación de niveles menos permeables y compresibles. De acuerdo con Custodio, E. (op.cit.), el efecto de drenaje diferido en acuíferos libres surge como consecuencia de que el drenaje gravitacional de los poros no es instantáneo; en acuíferos cautivos puede ser originado por la presencia de niveles poco permeables o por mala conexión hidráulica entre zonas diversas del acuífero.

Walton, W.C. (1.960), citado por Custodio, E. (op.cit.), define cualitativamente los tres tramos característicos de una curva descenso-tiempo con efecto de drenaje diferido :

- En el primer tramo el acuífero reacciona como si fuese cautivo, ajustándose a una curva de Theis, siendo teóricamente posible calcular la transmisividad; sin embargo los primeros descensos obtenidos no son demasiado fiables ante la falta de garantías de una estabilización del caudal proporcionado por la bomba.
- El segundo tramo es el correspondiente a lo que hemos llamado en el ejemplo expuesto "episodio de niveles estables" : empieza a aparecer el aporte diferido de agua, por lo que el ritmo de descenso del nivel en el pozo decrece. Este segundo tramo no puede ajustarse a la curva de Theis; tampoco puede ser aplicada en este período la aproximación de Jacob; en ambos casos se obtendrían transmisividades muy altas.
- Por último, en el tercer tramo, la curva vuelve a tender a una curva de Theis, por lo que de nuevo es válida

la fórmula de ese mismo nombre, así como la aproximación de Jacob.

La resolución de la ecuación propuesta por Boulton, M.S. (1.954) ha sido abordada por el mismo Boulton, M.S. (1.963) y por Walton (1.970); Prickett, T.A. (1.965) ha propuesto un ábaco de curvas tipo para la interpretación de este tipo de curvas, que es el que nosotros hemos utilizado en nuestro estudio. La ecuación de descenso puede verse en Custodio, E. (op. cit., Vol.I, pág.430); no la reproducimos aquí por su complejidad. Siendo  $S'$  el coeficiente de almacenamiento elástico del acuífero libre, si  $S' > 100 S$  la ecuación de descenso es de la forma (Prickett, 1.965, citado por Custodio, E. op. cit.) :

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \cdot W(u, r/D)$$

donde  $u = \frac{r^2 S}{4Tt}$  y  $D = \sqrt{\frac{T}{\alpha S'}}$ , siendo :

$s$  : descenso en el pozo

$Q$  : caudal de bombeo

$T$  : Transmisividad

$W(u, r/D)$  : función de pozo en acuífero con drenaje dife  
rido.

$r$  : distancial radial.

$S$  : coeficiente de almacenamiento

$t$  : tiempo

$S'$  : coeficiente de almacenamiento elástico del acuífero  
libre

$\alpha$  : constante empírica (tiempo<sup>-1</sup>).

## 178

Superponiendo la curva descenso-tiempo sucesivamente al conjunto de curvas A y B del citado ábaco de curvas tipo, se obtienen las coordenadas (s), (t), (W) y (1/u) de los dos puntos de coincidencia obtenidos, con las que es fácil obtener las transmisividades T y  $T_1$ :

$$T = 0,08 \cdot \frac{(W)}{(s)} \cdot Q \approx T_1$$

T y  $T_1$  deben ser aproximadamente iguales; en caso contrario probablemente habrá algún error en la aplicación del método o bien el modelo teórico no se adecua al problema real (Custodio, E., op.cit.).

Aplicando el método al ejemplo expuesto en las Figs.4.2., 4.3. y 4.4. se obtienen las transmisividades siguientes:

- para el primer escalón de bombeo ( $Q = 6,2$  l/seg.) (Fig.4.4.)  $T = 36 \text{ m}^2/\text{día}$  (no se observa el primer tramo de la curva).

- para el segundo escalón de bombeo ( $Q = 10,6$  l/seg.) (Fig.4.4.)  $T = 29,3 \text{ m}^2/\text{día} \approx 30 \text{ m}^2/\text{día} = T_1$ .

- para el tercer escalón de bombeo ( $Q = 15,2$  l/seg.) (Fig.4.2.)  $T = 21,4 \text{ m}^2/\text{día} \approx 22,3 \text{ m}^2/\text{día} = T_1$ .

- para el cuarto escalón de bombeo ( $Q = 19,15$  l/seg.) (Fig.4.3.)  $T = 13,2 \text{ m}^2/\text{día} \approx 14,2 \text{ m}^2/\text{día} = T_1$ .

Dado que no se dispone de más medidas que las realizadas en el propio pozo de bombeo, no se puede calcular el coeficiente de almacenamiento, S, del acuífero. Como puede observarse la transmisividad desciende desde  $36 \text{ m}^2/\text{día}$  a  $14 \text{ m}^2/\text{día}$  cuando el caudal crece desde 6,2

l/seg. a 19,15 l/seg.; no hay que olvidar que el descenso ha sido medido en el propio pozo de bombeo : como se sabe, en estas condiciones el descenso medido es mayor que el descenso teórico; además este sobredescenso aumenta rápidamente al crecer el caudal. En nuestro caso particular, en la disminución de la transmisividad juegan los factores siguientes :

- En primer lugar las pérdidas de carga en la formación, que de acuerdo con Custodio, E. (1.976, op.cit.) son directamente proporcionales al caudal de bombeo; también son crecientes con el tiempo.
- Si se considera al acuífero libre -lo que parece muy factible en este caso-,  $T$  decrece en función del menor espesor saturado que originan los descensos provocados por un mayor caudal de bombeo. Este efecto realmente debe considerarse englobado en el caso anterior.
- Las pérdidas de carga por no validez de la ley de Darcy en las proximidades del pozo, así como la que se produce por penetración en él (efecto parietal) que son también proporcionales al caudal (en el segundo caso al cuadrado del caudal, de acuerdo con Custodio, E., 1.976, op.cit.).

En el apartado correspondiente, se evaluará el "coeficiente de pérdidas de circulación en la formación" (B) y el "coeficiente de pérdidas en el pozo" (C), en un pozo donde ello ha sido posible.

La consecuencia de la variación de la transmisividad es una indeterminación en el valor de este parámetro que se debe asignar a la unidad o unidades litoestratigráficas drenadas por el pozo; en lo que sigue, cuando se disponga de más de un dato de transmisividad, deducidos de la interpretación de dos o más escalones de bom-

## 180

beo de un pozo, se considerará siempre como representativo de la formación atravesada por el pozo al más alto, que normalmente será el obtenido con el menor caudal de bombeo. En cualquier caso, somos conscientes de que estaremos hablando, del "acuífero real inexistente" de Sánchez de la Torre, L. (1.976) : en buena lógica no deberíamos hablar de transmisividad de la formación sino de transmisividad del pozo en cuestión.

X X X X X

Así pues, nuestro modelo de interpretación será básicamente el de drenaje diferido. No obstante hemos utilizado otras fórmulas, básicamente la de Theis y la de Walton-Hantush; también se ha utilizado la aproximación de Jacob y la representación descensos específicos-tiempo :

- En algún caso, y dado que sólo pretendíamos calcular la transmisividad y no el coeficiente de almacenamiento, hemos podido ajustar a la curva de Theis al primer tramo de una curva descenso-tiempo con drenaje diferido; normalmente, sin embargo, la fórmula de Theis solo será aplicable cuando el tercer tramo de la curva aparezca suficientemente definido : aunque no es el mejor ejemplo, tal es lo que ocurre en la mencionada Fig.4.2.; el valor de la transmisividad así calculado es de  $25,4 \text{ m}^2/\text{día}$  frente a los  $22,3 \text{ m}^2/\text{día}$  obtenidos por el método de Pickett.

- La fórmula de Walton-Hantush la hemos aplicado en dos supuestos prácticamente iguales pero conceptualmente diferentes :

- a) Uno de ellos es aquél en que sólo aparece el tramo primero y segundo del efecto de drenaje diferido;

ocurre especialmente en bombeos de corta duración y con caudales suficientemente altos como para que el primer tramo de la curva no transcurra antes de la primera medida del descenso. Tal es el caso de las Figuras 4.2., 4.3. y 4.4.; en las Figs. 4.2. y 4.3. se han interpretado los tramos primero y segundo por las fórmulas del acuífero semiconfinado de Walton-Hantush :en el primer caso (Fig.4.2.) la T (transmisividad) obtenida ha sido de  $26,8 \text{ m}^2/\text{día}$  frente a los  $22,3 \text{ m}^2/\text{día}$  obtenidos por el método de Prickett y en el segundo (Fig.4.3.) por ambos métodos se logra una T de  $14,2 \text{ m}^2/\text{día}$ ; la fórmula expuesta de Prickett

$$s = \frac{Q}{4TCT} \cdot W(u, r/D), \text{ es de la misma forma}$$

que la de Hantush

$$s = \frac{Q}{4TCT} \cdot W(u, r/B), \text{ para tiempos cortos,}$$

$$\text{cuando } D = \infty; u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad (\text{Custodio, E., op.cit.}).$$

En efecto, puede comprobarse como el ábaco de curvas tipo propuesto por Prickett es idéntico en su primer tramo con la curva tipo de Hantush. En la Fig.4.4., el menor caudal de bombeo es el responsable de que no se observe el primer tramo del efecto de drenaje diferido, por lo que es inaplicable la fórmula de Walton-Hantush.

- b) El segundo supuesto es la aparición, tras el efecto del drenaje diferido, de un efecto de semiconfinamiento en el sentido estricto de la palabra. Tal es el caso de las Figs. 4.5. A y B (pozo 628-3-2) : en ellas pueden observarse como a los 10 minutos de iniciado



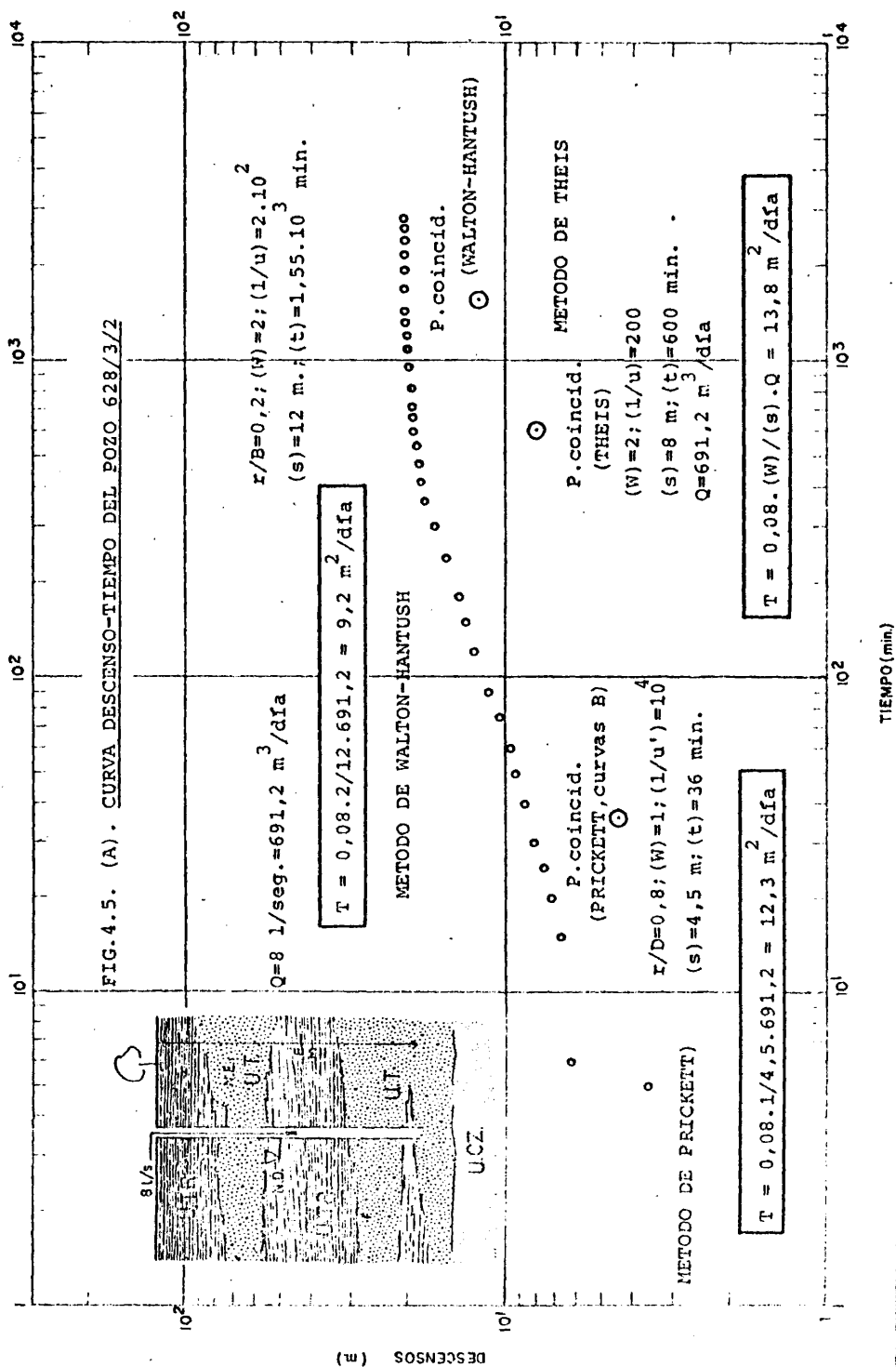


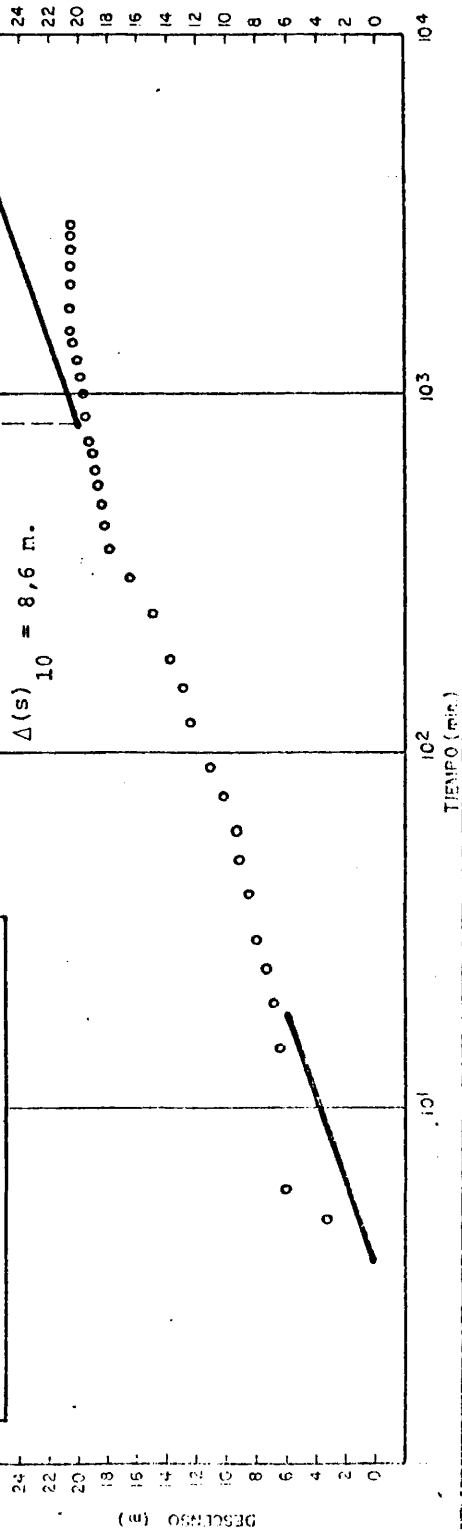
FIG. 4.5.- (B). CURVA DESCENSO-TIEMPO DEL POZO 628/3/2

MÉTODO DE JACOB

 $Q = 691,2 \text{ m}^3/\text{día}$ 

$$T = 0,183 \cdot Q / (s) = 14,7 \text{ m}^2/\text{día}$$

$$\Delta(s)_{10} = 8,6 \text{ m.}$$



el bombeo acaba el segundo tramo del efecto de drenaje diferido, y la curva descenso-tiempo tiende a la curva de Theis; a partir de los 300 minutos empieza a aparecer el efecto de semiconfinamiento propiamente dicho. La T calculada ha sido :

- Prickett (curvas B) :  $T = 12,3 \text{ m}^2/\text{día.}$
- Theis :  $T = 13,8 \text{ m}^2/\text{día.}$
- Jacob :  $T = 14,7 \text{ m}^2/\text{día.}$
- Walton-Hantush :  $T = 9,2 \text{ m}^2/\text{día.}$

c) La aproximación de Jacob solo es aplicable en los mismos supuestos que la de Theis, con la conocida limitación de un valor suficientemente pequeño de u ( $u < 0,03$ ). En estos casos, cuando el caudal de bombeo ha sido variable, es más adecuada la representación descenso específico-tiempo en lugar de descenso-tiempo; en general, sin embargo hemos obtenido resultados sensiblemente por defecto con respecto a los obtenidos por los métodos restantes por lo que no hemos llegado a considerarlos.

X X X X X

El desconocimiento del efecto de drenaje diferido ha sido la causa de algún susto importante entre los constructores de pozos de la región. Valga el ejemplo del pozo 581-6-1 (Figs.4.2., 4.3. y 4.4.) : el primer y segundo escalón de bombeo fué con un caudal y durante un tiempo tales que la curva descenso-tiempo no abandonó el segundo tramo de Walton; deduciéndose mediante la fórmula de Jacob una T de  $490,2 \text{ m}^2/\text{día}$  (1<sup>er</sup> escalón) y  $239 \text{ m}^2/\text{día}$  (2° escalón), valores del orden de diez veces superiores a los obtenidos nosotros teniendo en cuenta el efecto de drenaje diferido. En el tercer escalón,

que partió del nivel estático, la aparición del tercer tramo de Walton se interpretó como "tendencia al agotamiento" deteniendo el bombeo para observar la recuperación, " ... ante la duda de que estuviéramos en presencia de un acuífero de extensión limitada (aguas colgadas) ...". En el cuarto escalón, con un bombeo de mayor caudal, se observó una " ... tendencia al agotamiento, más acusada que antes ..."; afortunadamente, la aparición del efecto de semiconfinamiento tranquilizó la situación.

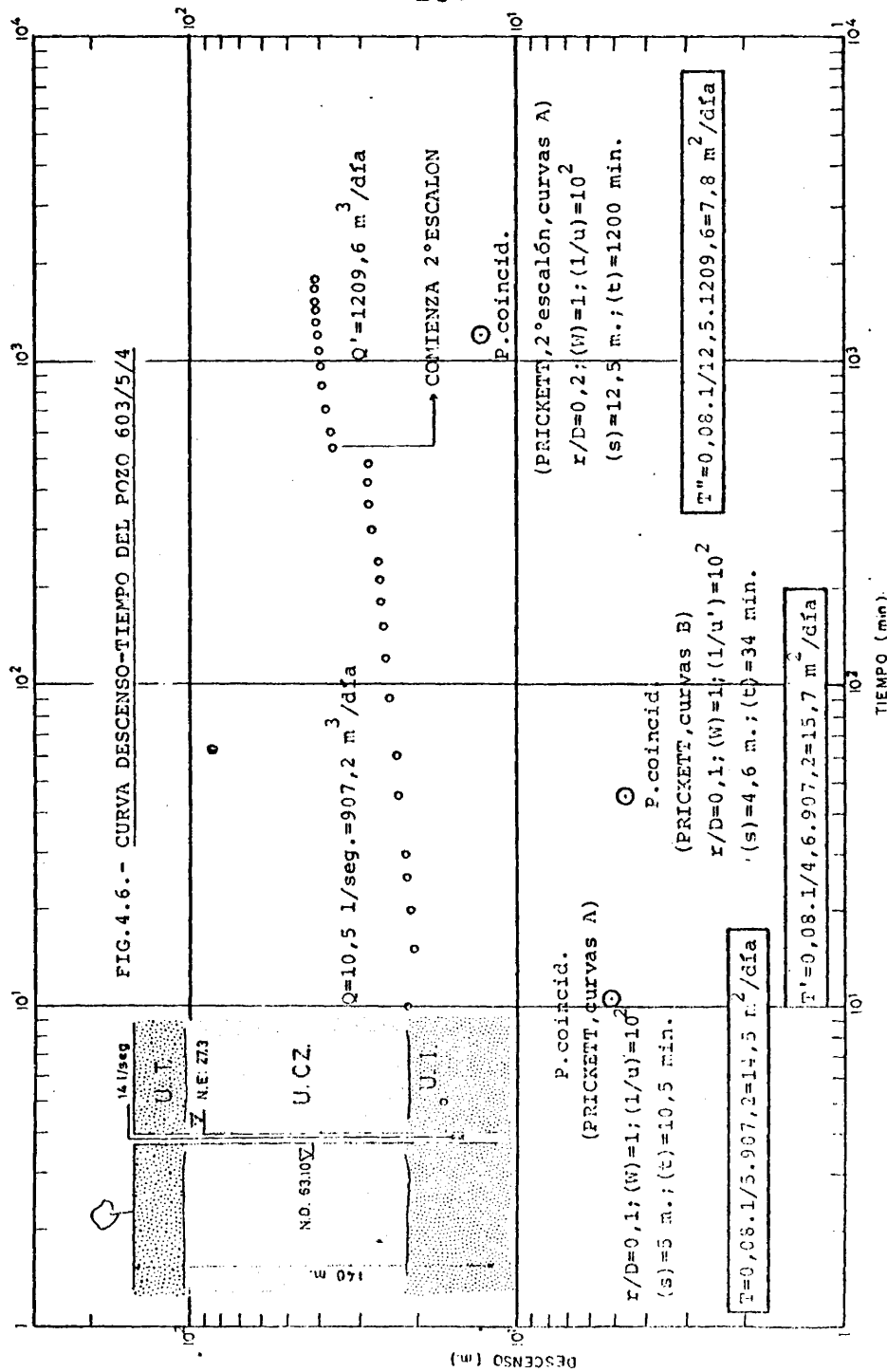
La tendencia a la estabilización de niveles del segundo tramo de Walton -sobre todo si ese episodio es suficientemente largo- unido en algunos casos a un valor pequeño de la relación  $r/D$  de la curva B seleccionada, hace que al aforar, los constructores de pozos pasen al segundo escalón de bombeo sin que llegue a hacer aparición el tercer tramo de Walton : tal es lo que ocurre en el ejemplo de la Fig.4.6. Si a ello se une la interpretación por el método de Jacob, la supervaloración de la transmisividad es evidente.

#### 4.2.3.4.- Tipos de curvas descenso-tiempo.

Las curvas descenso-tiempo que hemos analizado pueden agruparse en los tipos siguientes :

- Tipo I : Curvas descenso-tiempo con observación de los tres tramos de Walton.

La observación del tramo primero-segundo y segundo-tercero permite el ajuste sucesivo de la curva descenso-tiempo al grupo de curvas A y B de Prickett, respectivamente, con lo que pueden obtenerse dos valores de transmisividad,  $T$  y  $T_1$ , que deben ser aproximadamente

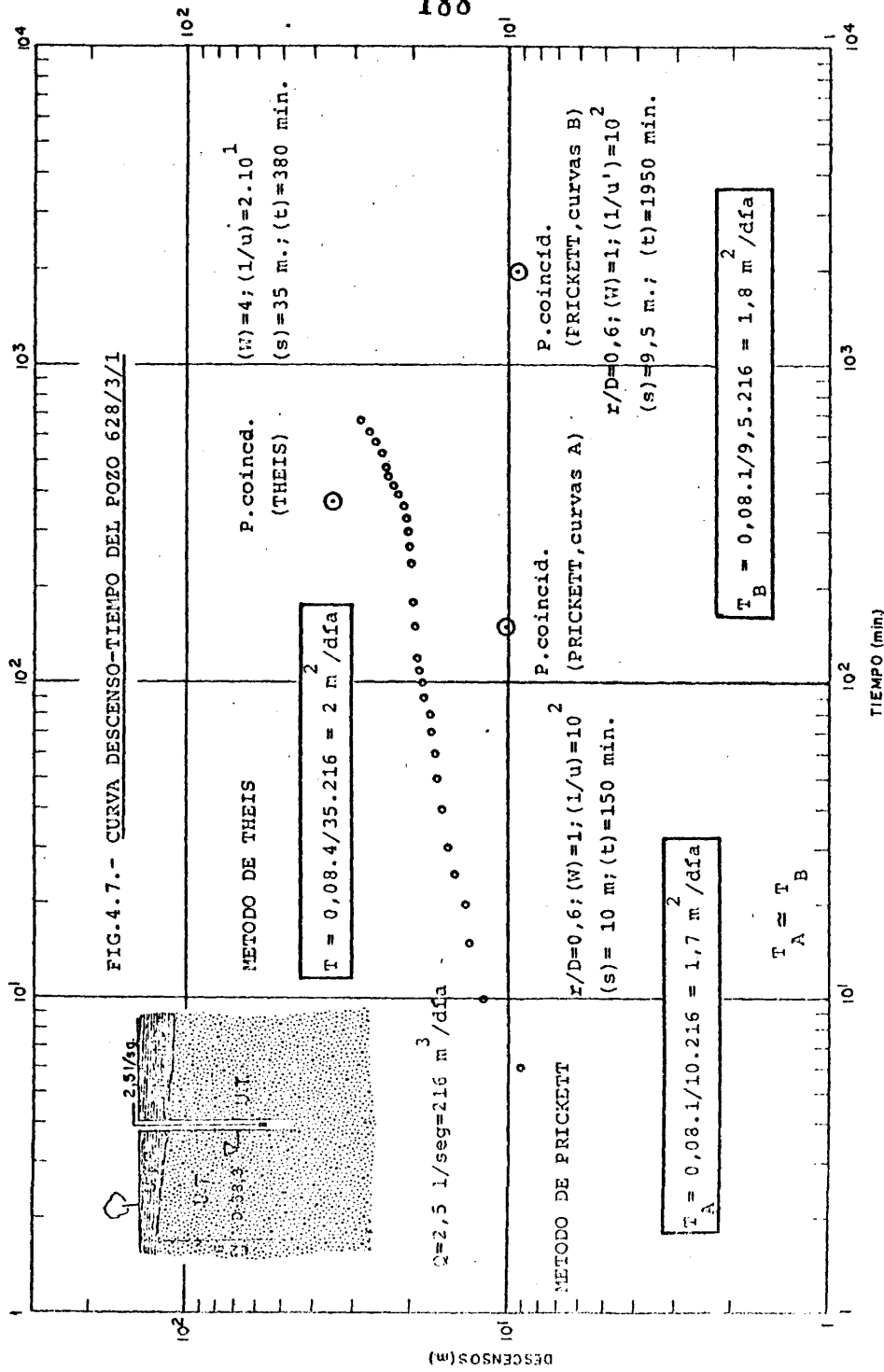


iguales si el método ha sido aplicado correctamente. Por otro lado, superponiendo el tramo primero y segundo de la curva descenso-tiempo a la curva tipo de Hantush puede obtenerse también la transmisividad, La evolución en el tercer tramo de acuerdo con la curva de Theis permite asimismo hallar la T. Por último, si aparecen efectos de semiconfinamiento, se podrá interpretar la curva por el método de Walton-Hantush.

Entran en este grupo las ya comentadas curvas descenso-tiempo del pozo 581-6-1 (Figs. 4.2., 4.3., y 4.4.). En propiedad solo corresponderían las curvas correspondientes a los caudales de 15,2 l/seg. (Fig.4.2.) y 19,15 l/seg. (Fig.4.3.), puesto que como vimos, con caudales de 6,2 l/seg. y 10,6 l/seg. no se observaba con claridad el tramo tercero de Walton; no obstante las consideramos aquí al objeto de no obtener demasiados tipos de curvas. También representa a este grupo la curva descenso-tiempo del pozo 603-5-4 (Fig.4.6.) y 628-3-1 (Fig. 4.7.). Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.1.

- Tipo II : Curvas descenso-tiempo en que solo se observa el final del segundo y tercer tramo de Walton (ajuste a la curva de Theis).

Es la situación que más frecuentemente aparece en todos los pozos. El caudal de bombeo está comprendido entre 1 y 5 l/seg.; el primero y prácticamente el segundo tramo de Walton han pasado desapercibidos en los primeros minutos del bombeo, por lo que solo puede ser ajustada la curva caudal-descenso al grupo de curvas B de Prickett. Sin embargo puede utilizarse con garantía la fórmula de Theis y la aproximación de Jacob; el método de los descensos específicos da resultados sensible-



N.º DE POZO	CAUDAL (l/seg)	CAUDAL ESP. (l/seg/m)	PRICKETT (curvas A) (*)	PRICKETT (curvas B) (*)	HANTUSH (tramo 1º y 2º) (*)	THEIS (*)	HANTUSH ult. tramo (*)	U. LITO- ESTRAT.	FIG.
581-6-1	6,2	1,05	-	36	-	-	-	U.N. U.T.	4.4
"	10,6	0,82	29,3	30	-	-	-	"	4.4
"	15,1	0,67	21,4	22,3	26,8	25,4	-	"	4.2
"	19,1	0,48	13,2	14,2	14,2	-	13,2	"	4.3
603-5-4	10,5	0,37	14,5	15,7	-	-	-	U.Cz + U.I.	4.6
"	14	0,34	7,8	-	-	-	-	"	4.6
628-3-1	2,5	0,08	1,7	1,8	-	2,0	-	U.T.	4.7

(\*) : m<sup>2</sup>/día.

Tabla 4.1.- RESULTADO DE LA INTERPRETACION DE LAS CURVAS DESCENSO TIEMPO DEL TIPO I.



mente por defecto.

Es el caso de las Figs. 4.8. (A y B), 4.9. (A y B), 4.10 (A y B), 4.11. (A y B) y 4.12. (A y B). Los resultados obtenidos se encuentran en la Tabla 4.2.

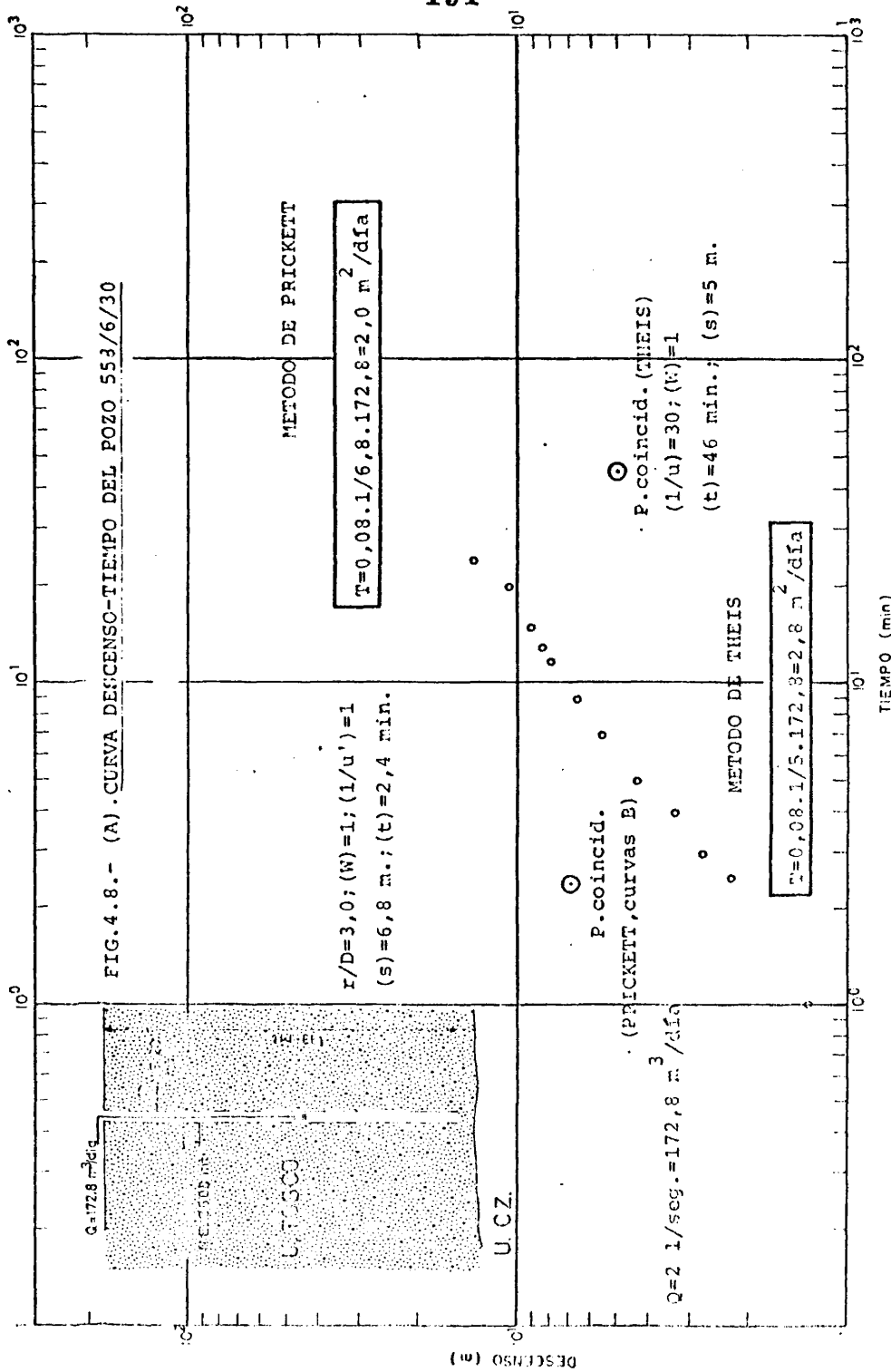
- Tipo III : Curvas descenso-tiempo con observación del segundo y tercer tramo de Walton y finalmente efecto de semiconfinamiento.

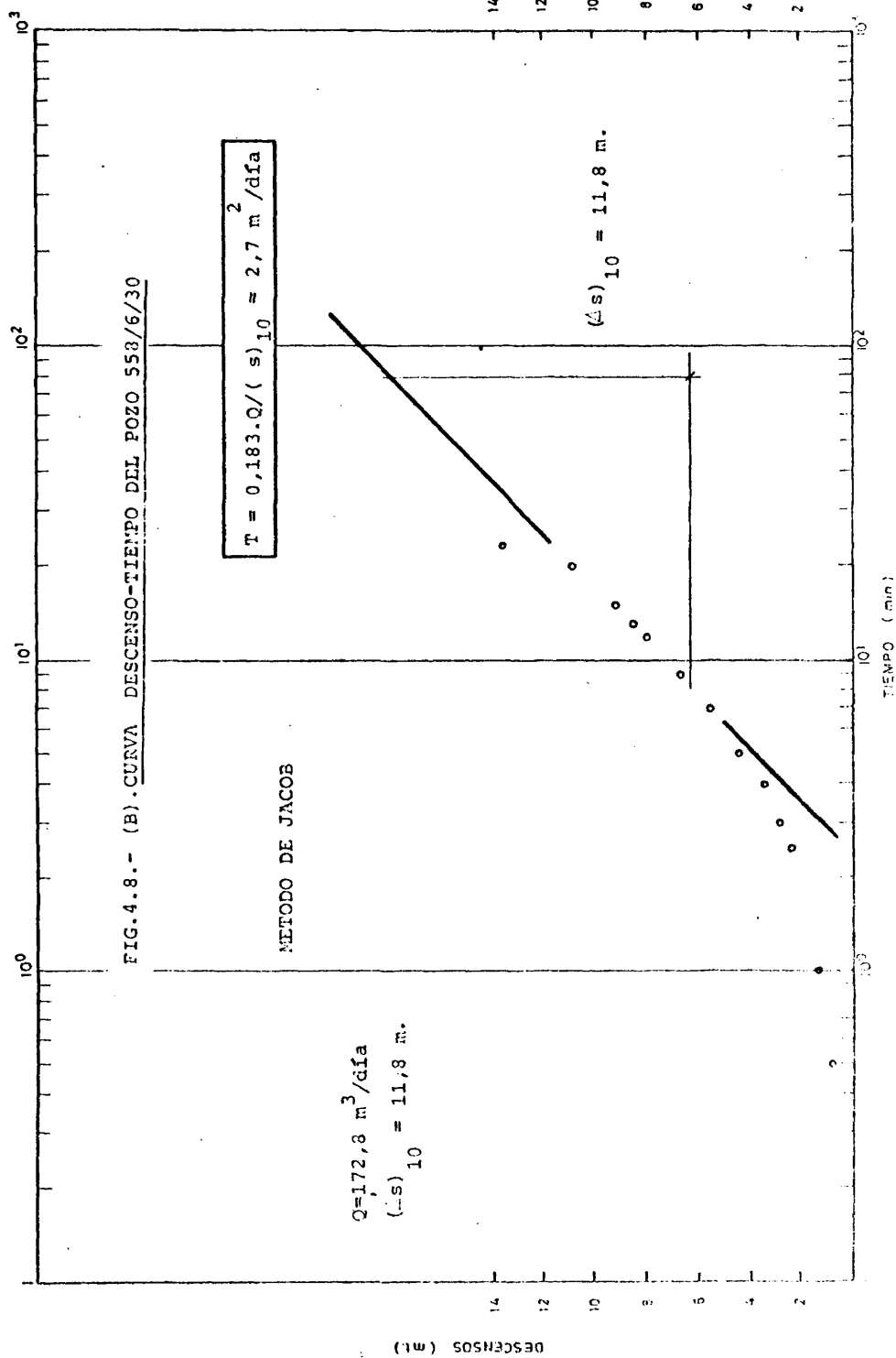
Al igual que en el grupo de curvas del tipo anterior, solo pueden ajustarse al grupo de curvas B de Prickett. Asimismo, el método de Theis para el tercer tramo de la curva da también buen resultado y en algún caso el método de Jacob. Por último, la neta aparición del efecto de semiconfinamiento aconseja la interpretación por el método de Walton-Hantush.

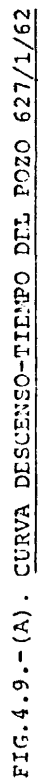
Pueden citarse las curvas descenso-tiempo de los pozos 628-3-2 (A y B) (ya comentados en la Fig.4.5.), 603-2-5 (Fig.4.13.) y 603-3-1 (Fig.4.14.). Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.3.

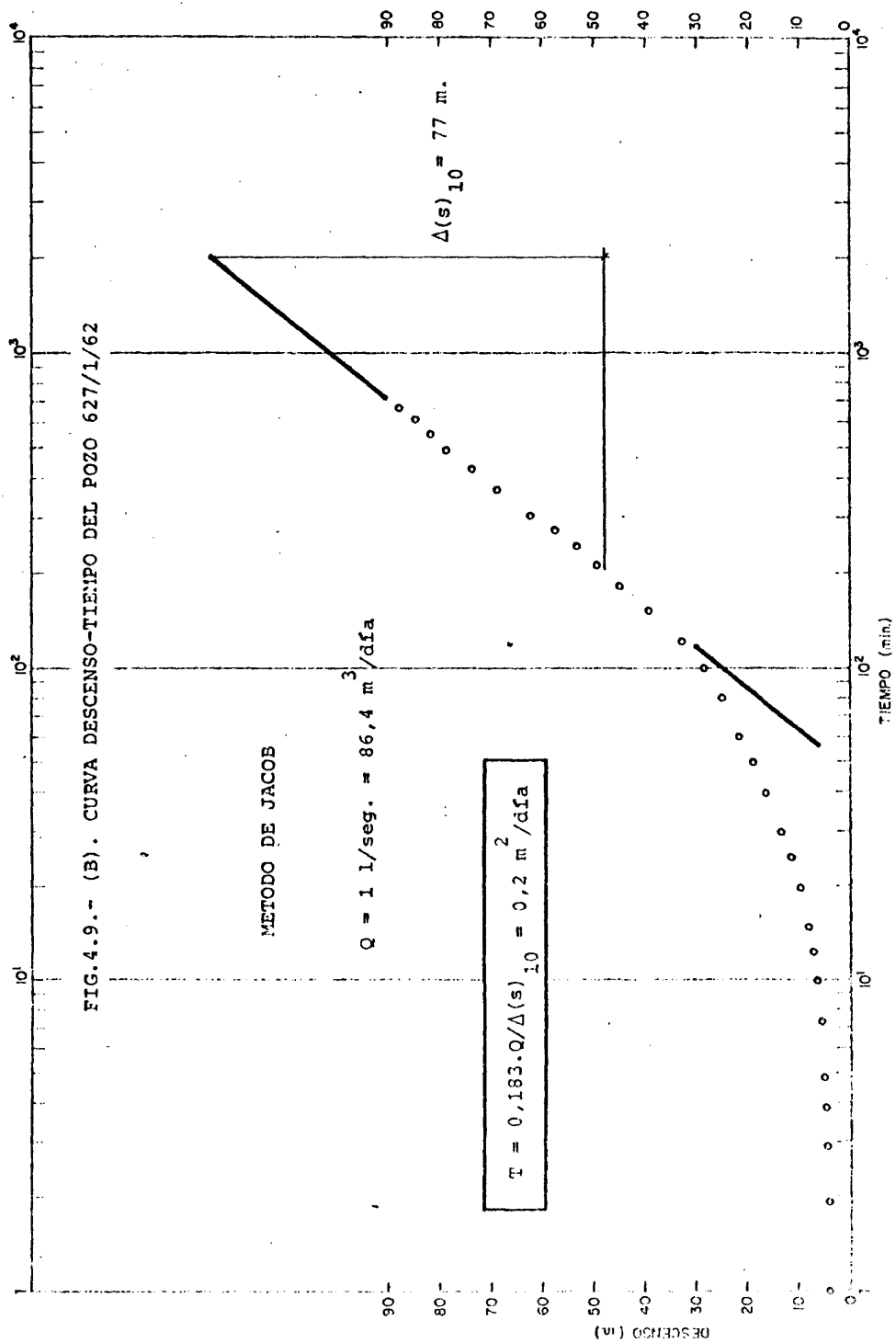
- Tipo IV : Curvas descenso-tiempo con observación de los dos primeros tramos de Walton (seudo-efecto de semiconfinamiento).

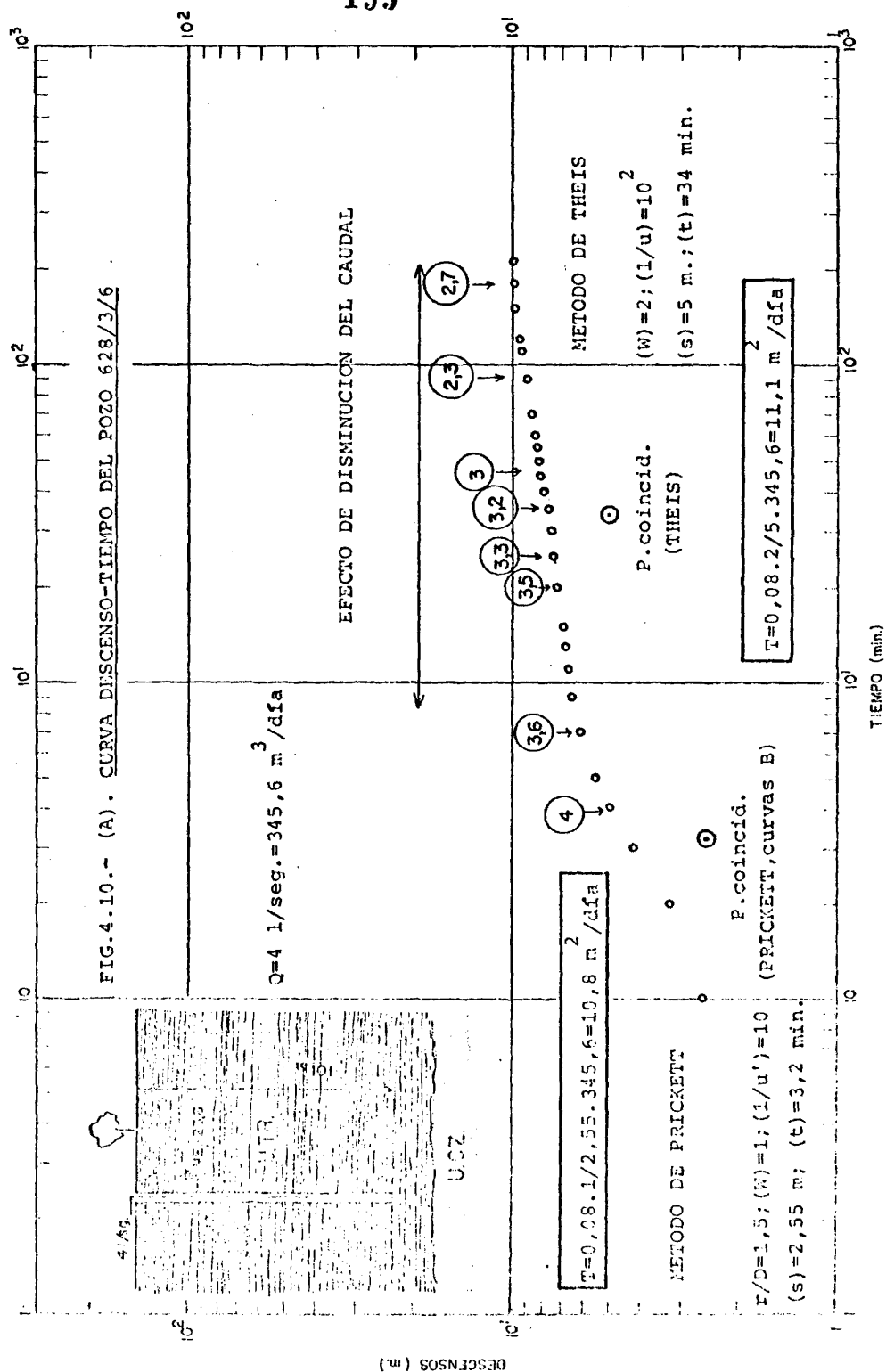
Como ya se comentó anteriormente, son típicas de bombeos de corta duración -o de escalón de bombeo de corta duración-. La aparición únicamente de los tramos primero y segundo de Walton solo permite la superposición de la curva caudal descenso al grupo de curvas A de Prickett. Por otro lado, el pseudo-efecto de semiconfinamiento permite la interpretación utilizando la curva-tipo de Hantush. La curva descenso-tiempo del pozo 558-3-11 (Fig.

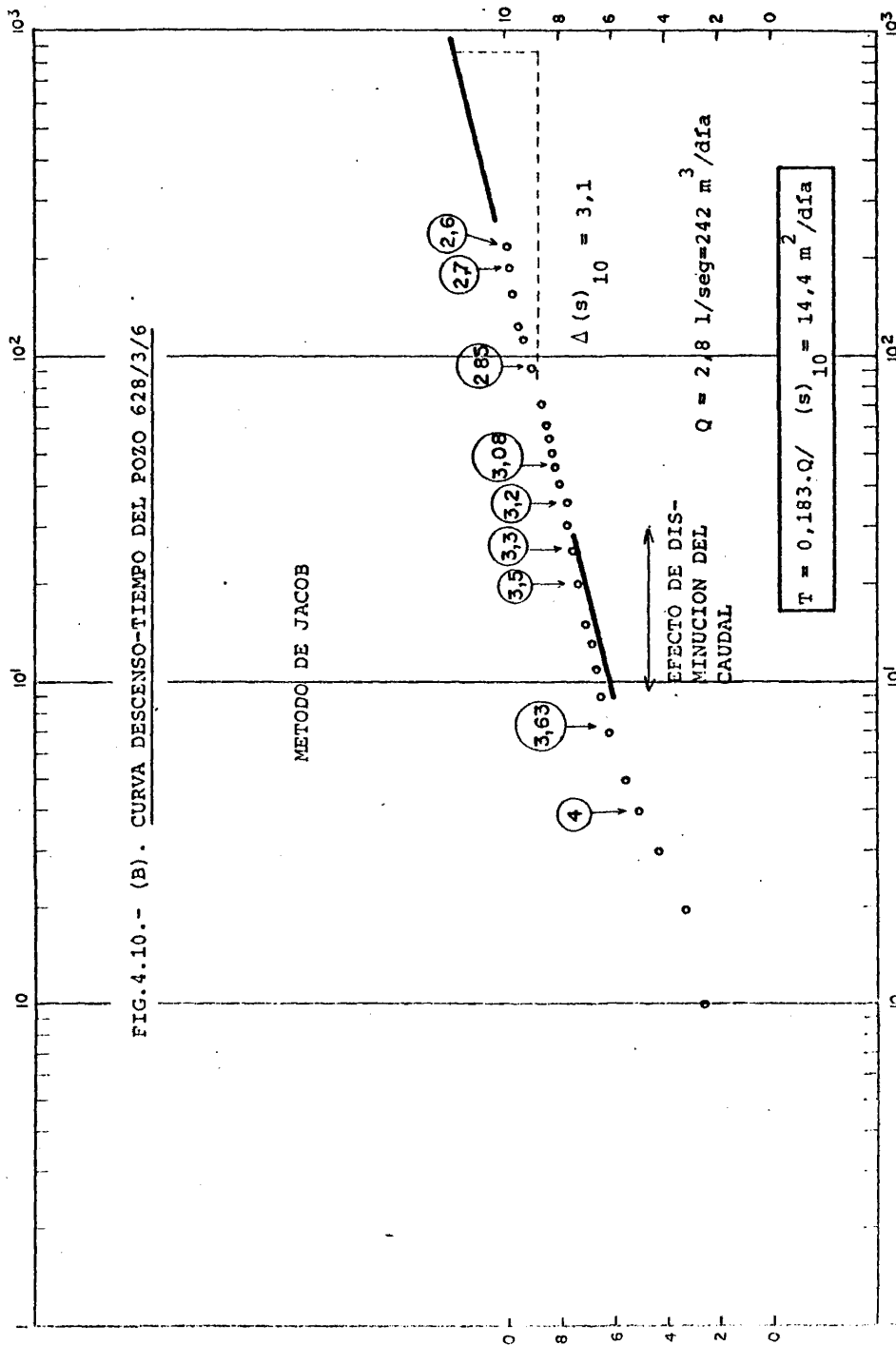


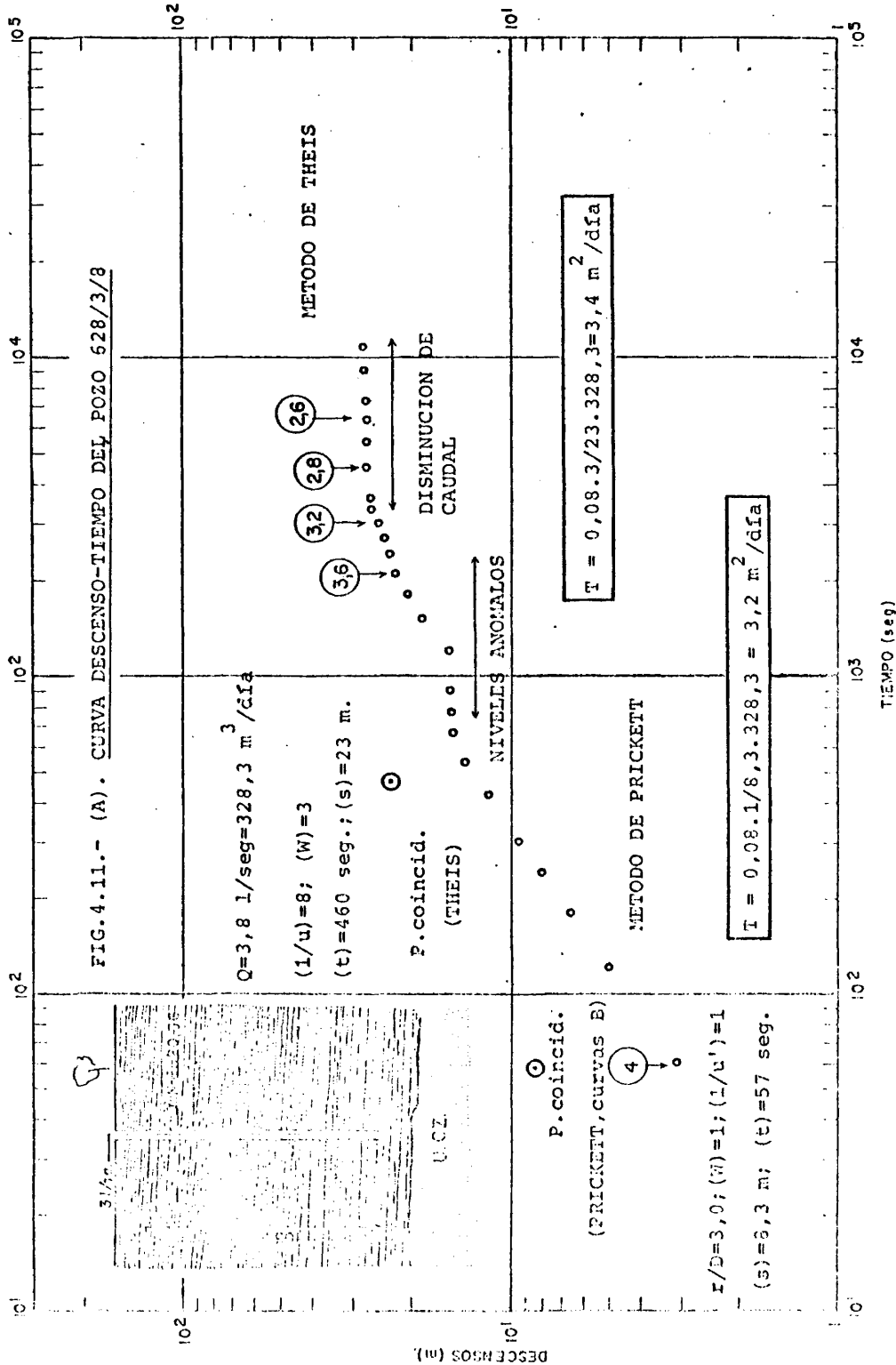




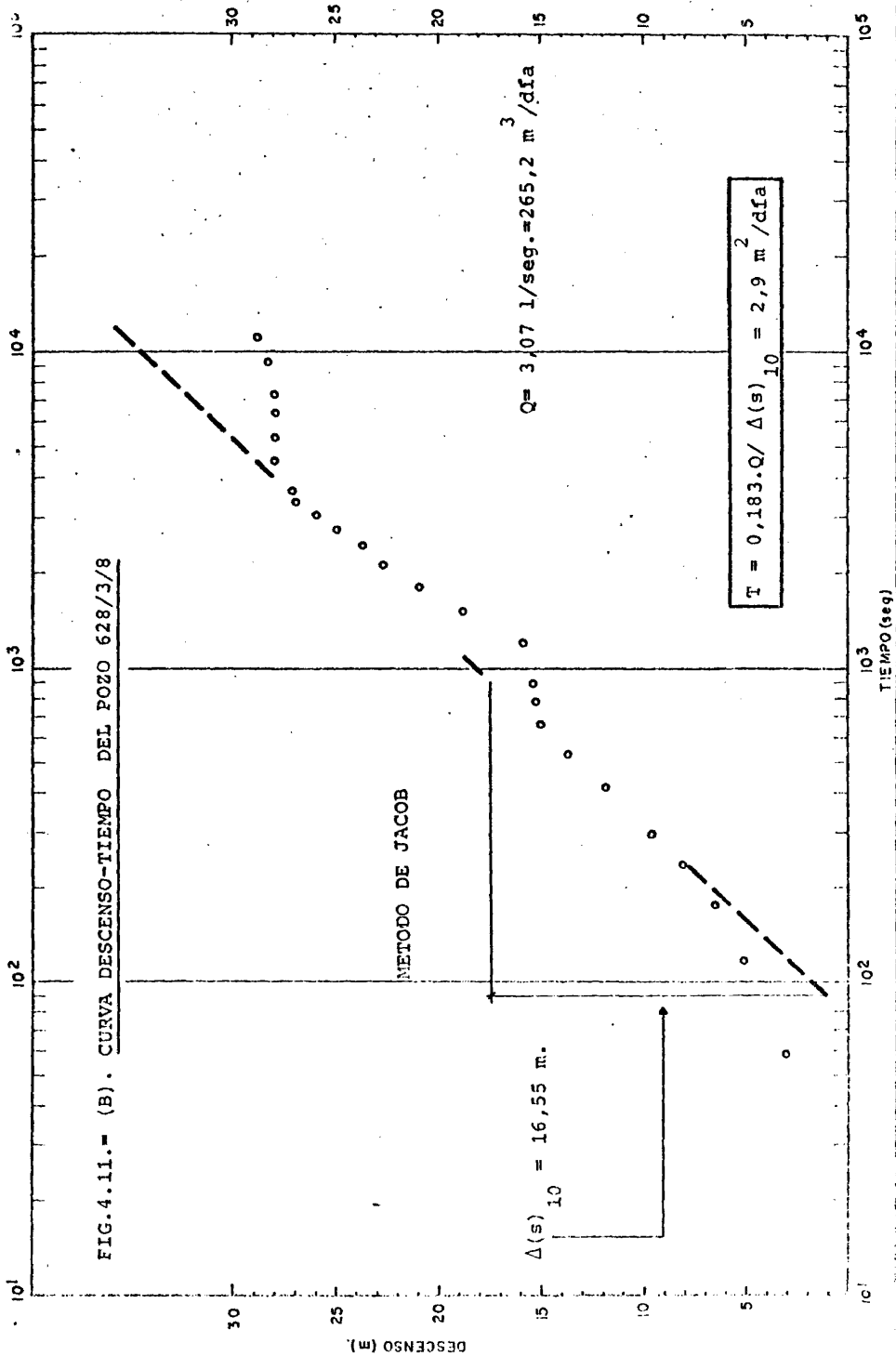












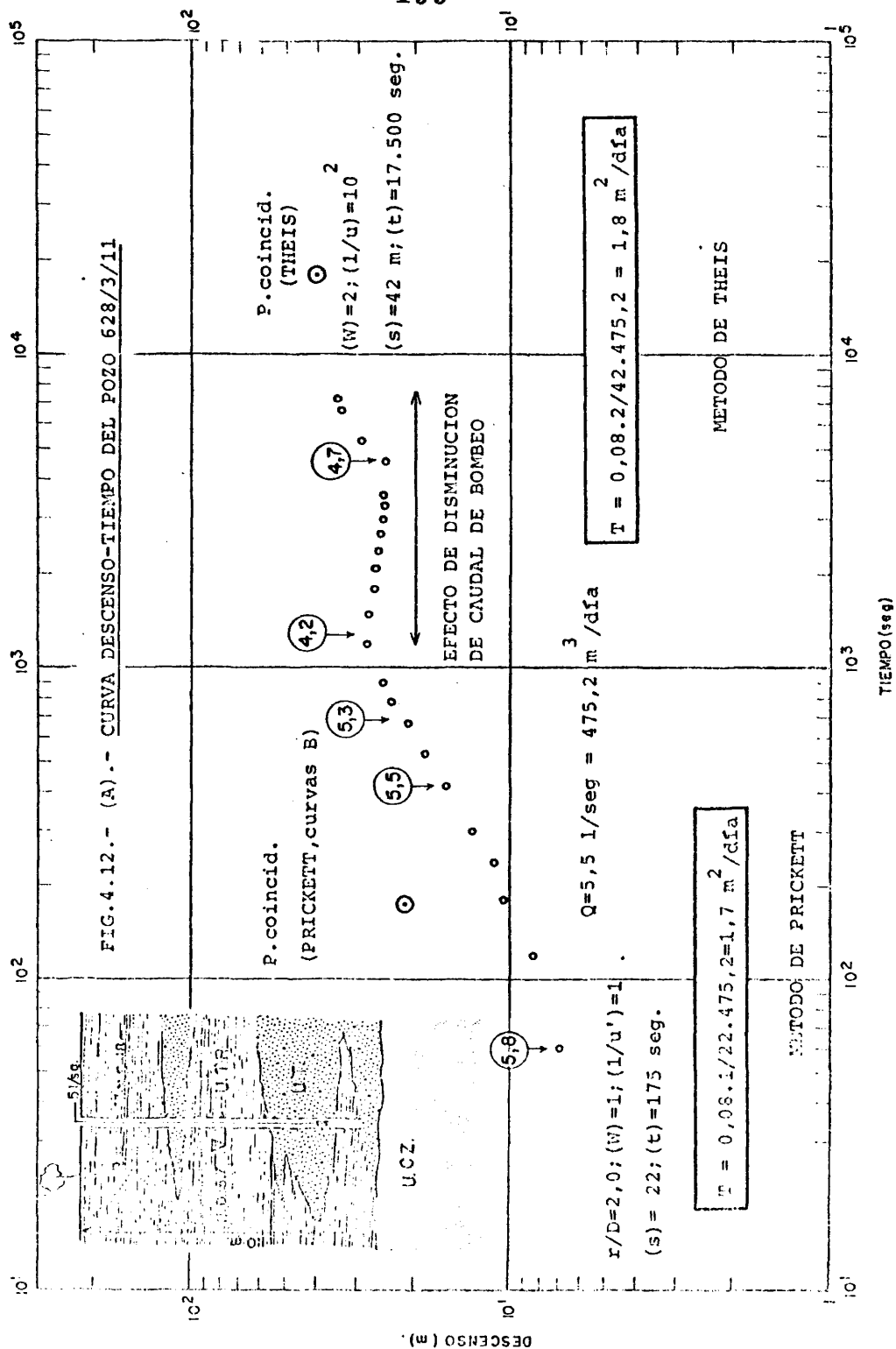
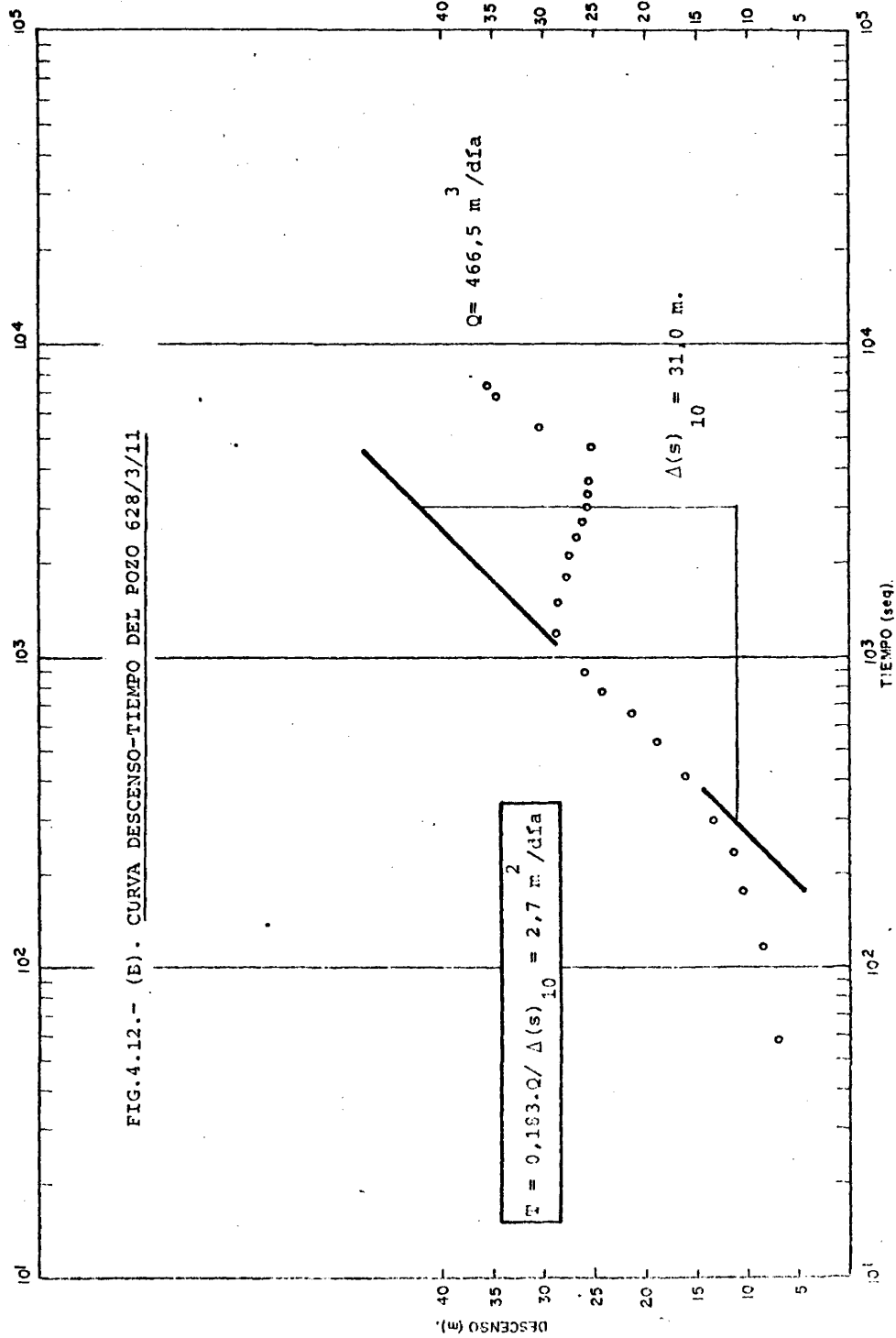


FIG.4.12.- (E). CURVA DESCENSO-TIEMPO DEL POZO 628/3/11



Nº DE POZO	CAUDAL (l/seg)	CAUDAL ESP. (l/seg/m)	PRICKETT (curvas B) (*)	THEIS (*)	JACOB (*)	U.LITOES- TRAT.	FIG.
558-6-30	2	0,13	2,0	2,8	2,7	U.T.	4.8
627-1-62	1	0,01	0,15	0,19	0,20	U.Cz + U.I.	4.9
628-3-6	4	0,30	10,8	11,1	14,4	U.Tr.	4.10
628-3-8	3,8	0,10	3,2	3,4	2,9	U.Tr.	4.11
628-3-11	5,5	0,13	1,7	1,8	2,7	U.Tr + U.T.	4.12

(\*) : en m<sup>2</sup>/día.

Tabla 4.2.- RESULTADO DE LA INTERPRETACION DE LAS CURVAS DESCENSO-TIEMPO DEL  
TIPO II

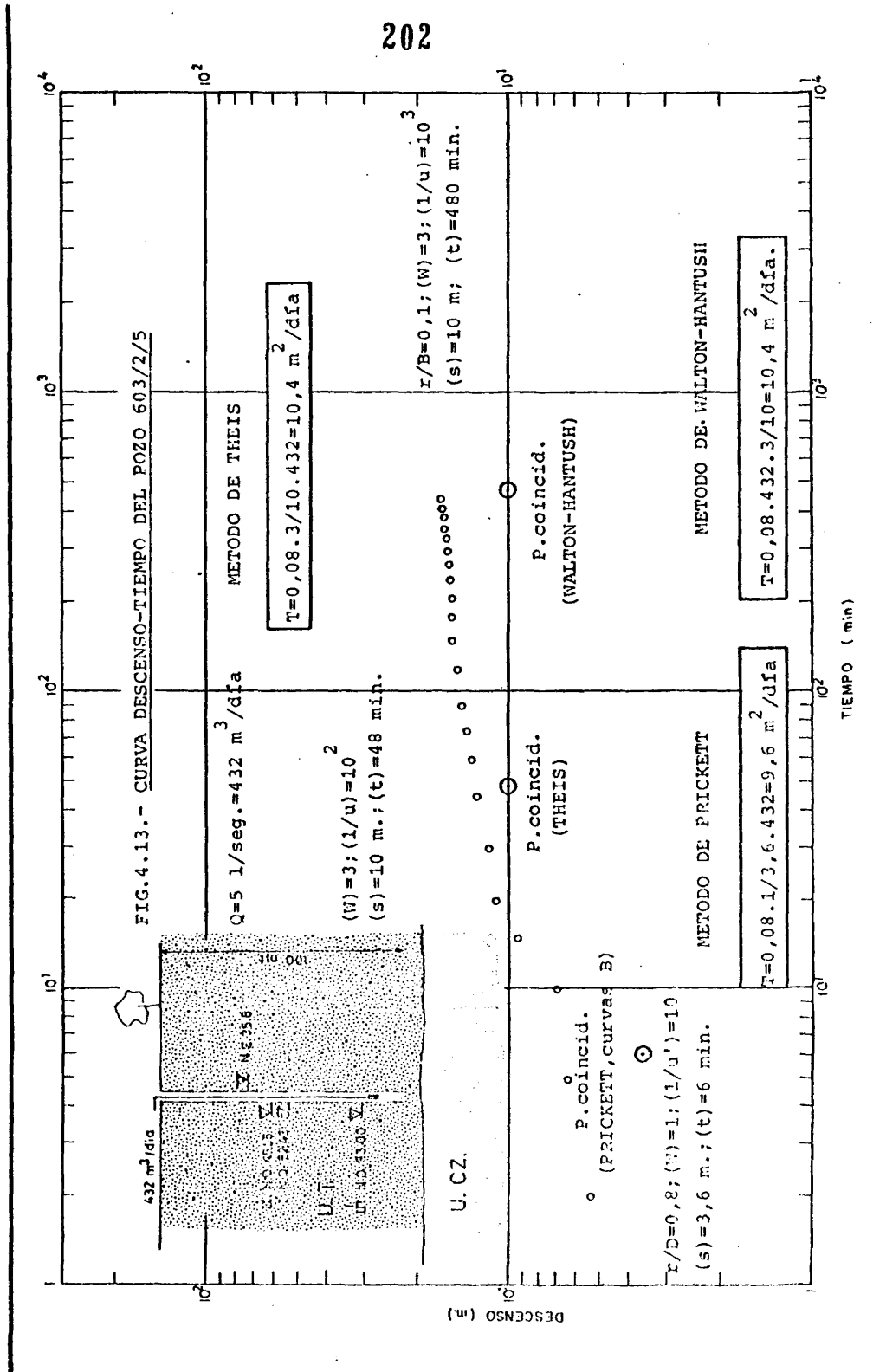
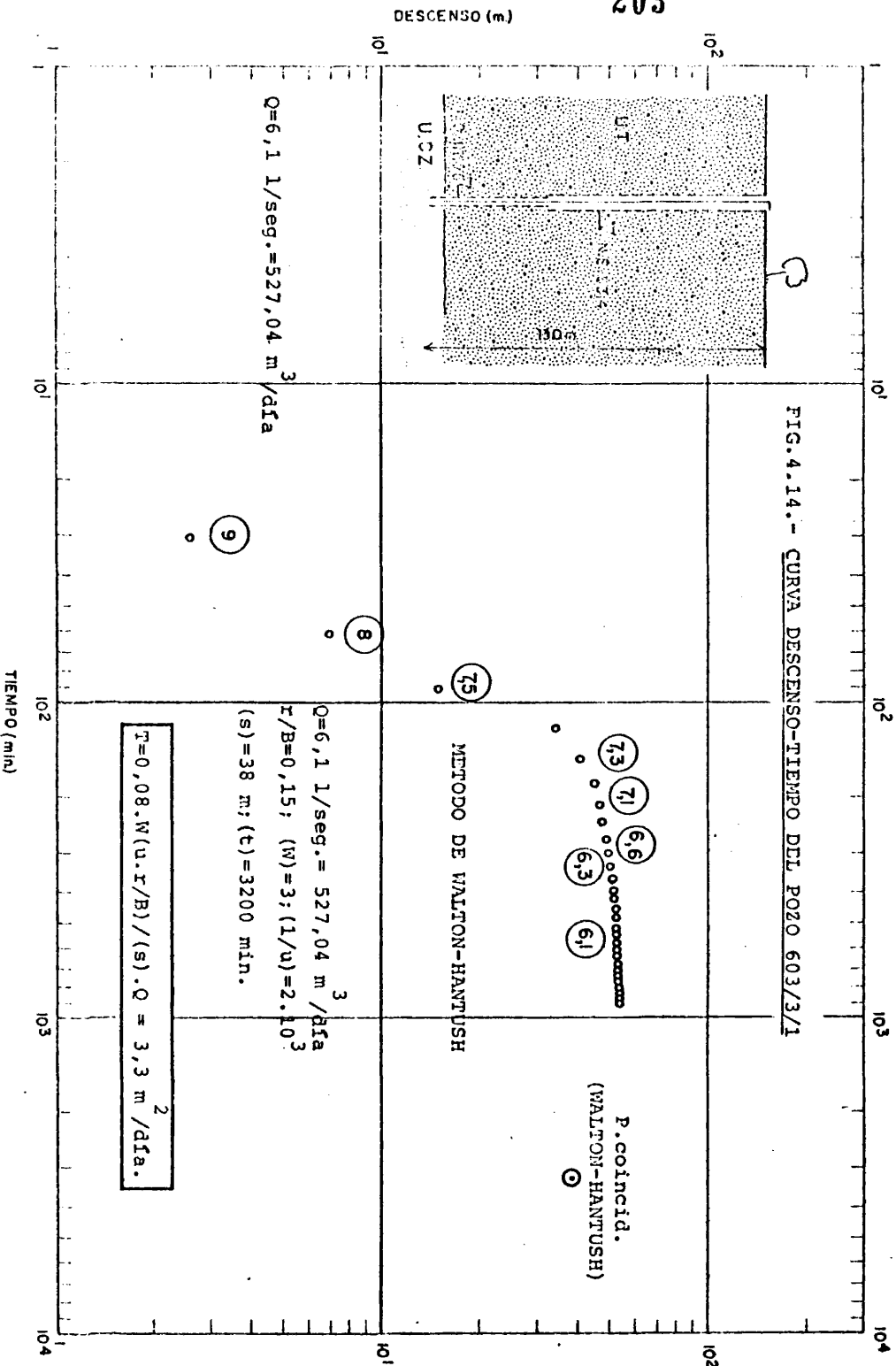


FIG. 4.14.- CURVA DESCENSO-TIEMPO DEL POZO 603/3/1



## 204

4.15.) hemos podido ajustarla, en su primer tramo, a la curva de Theis.

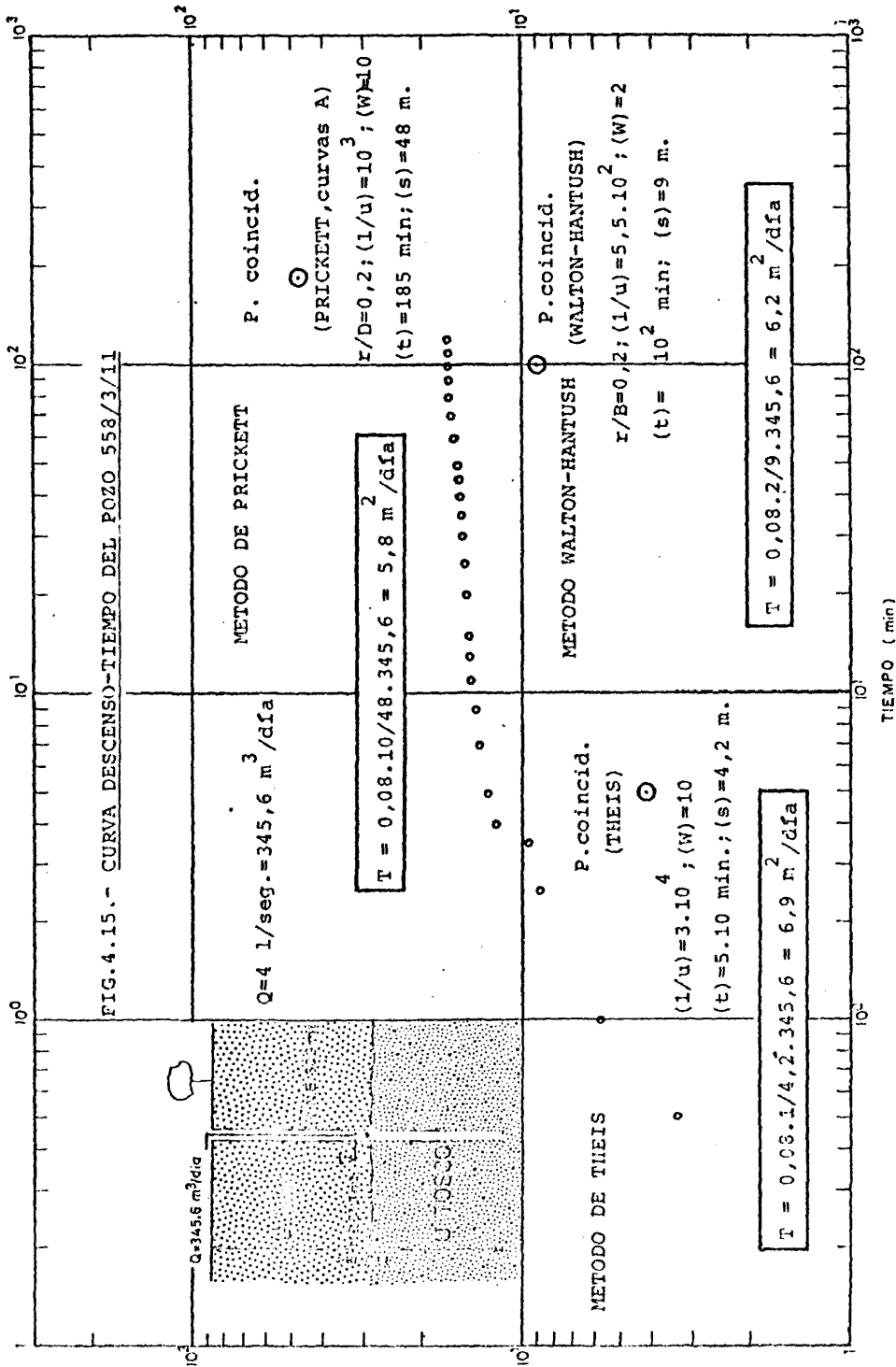
En el caso de las ya citadas curvas de los pozos 558-3-11 (Fig.4.15.), 603-5-4 (Fig.4.6.), 603-5-5 (Fig.4.16.), 603-7-7 (Fig.4.17.) y 628-3-12 (Fig.4.18.). Al igual que en los tipos anteriores, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.4.

#### 4.2.3.5.- Ensayos de recuperación

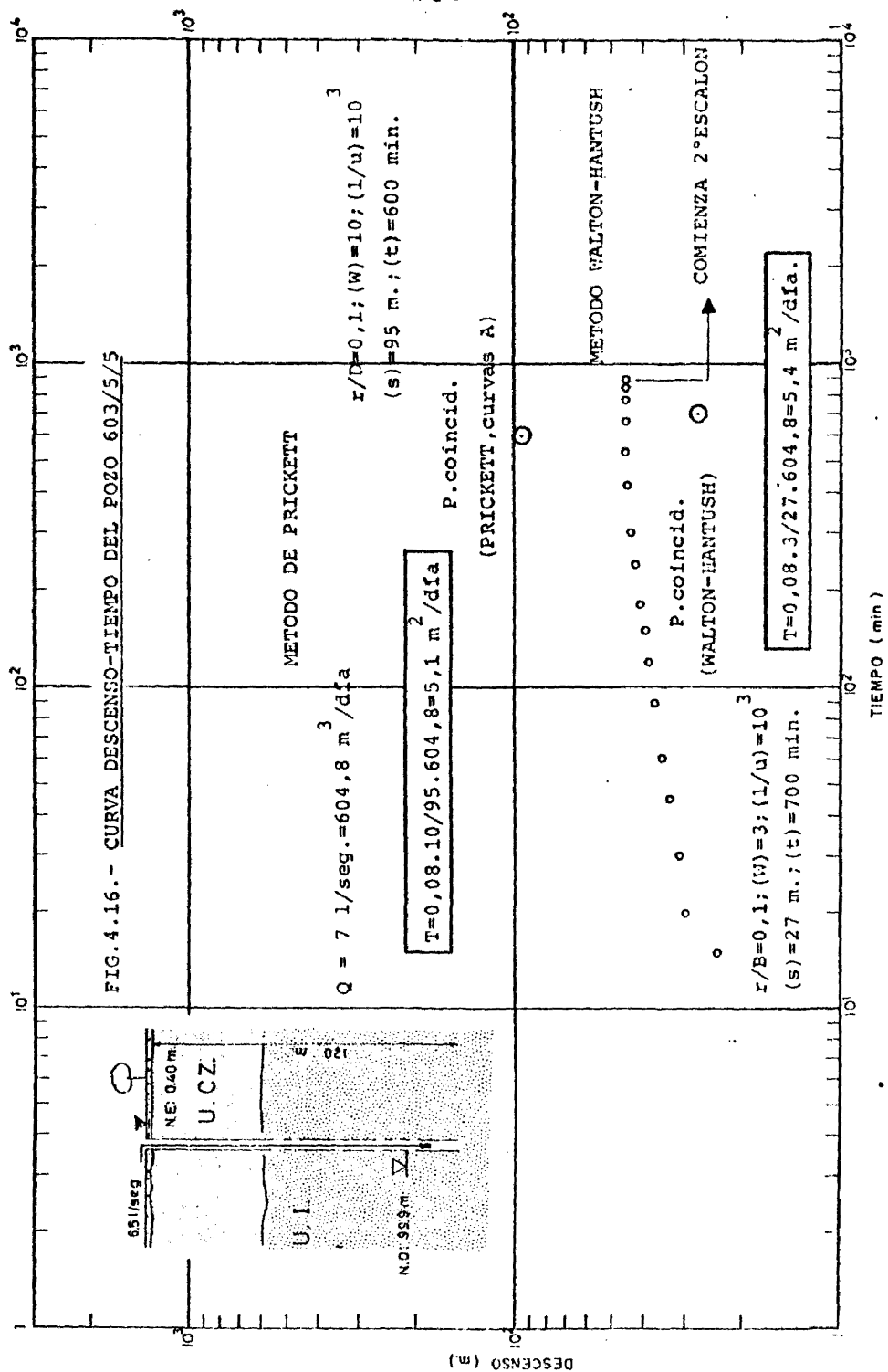
Como se sabe, el cálculo de la transmisividad (T) puede realizarse también a partir del análisis de la recuperación del nivel de agua dentro del pozo una vez acabado el bombeo : la detención de los bombeos equivale a suponer que entra en funcionamiento un pozo semejante al de bombeo -y en su mismo emplazamiento- que recarga el acuífero con idéntico caudal que el que bombea el otro, que se supone sigue funcionando (Custodio, E., op. cit.). Con este tipo de ensayos se evitan las pequeñas oscilaciones del nivel de agua causadas por las pequeñas variaciones del caudal suministrado por la bomba.

El método más sencillo para el análisis de la recuperación es el llamado método de los descensos residuales : empleando papel semilogarítmico se representan en ordenadas (escala aritmética) los descensos residuales correspondientes a cada valor  $tB/tr + 1$  en abscisas (escala logarítmica), siendo  $tB$  la duración del bombeo y  $tr$  el tiempo transcurrido desde que se detuvo la bomba. La transmisividad se obtiene de la expresión :

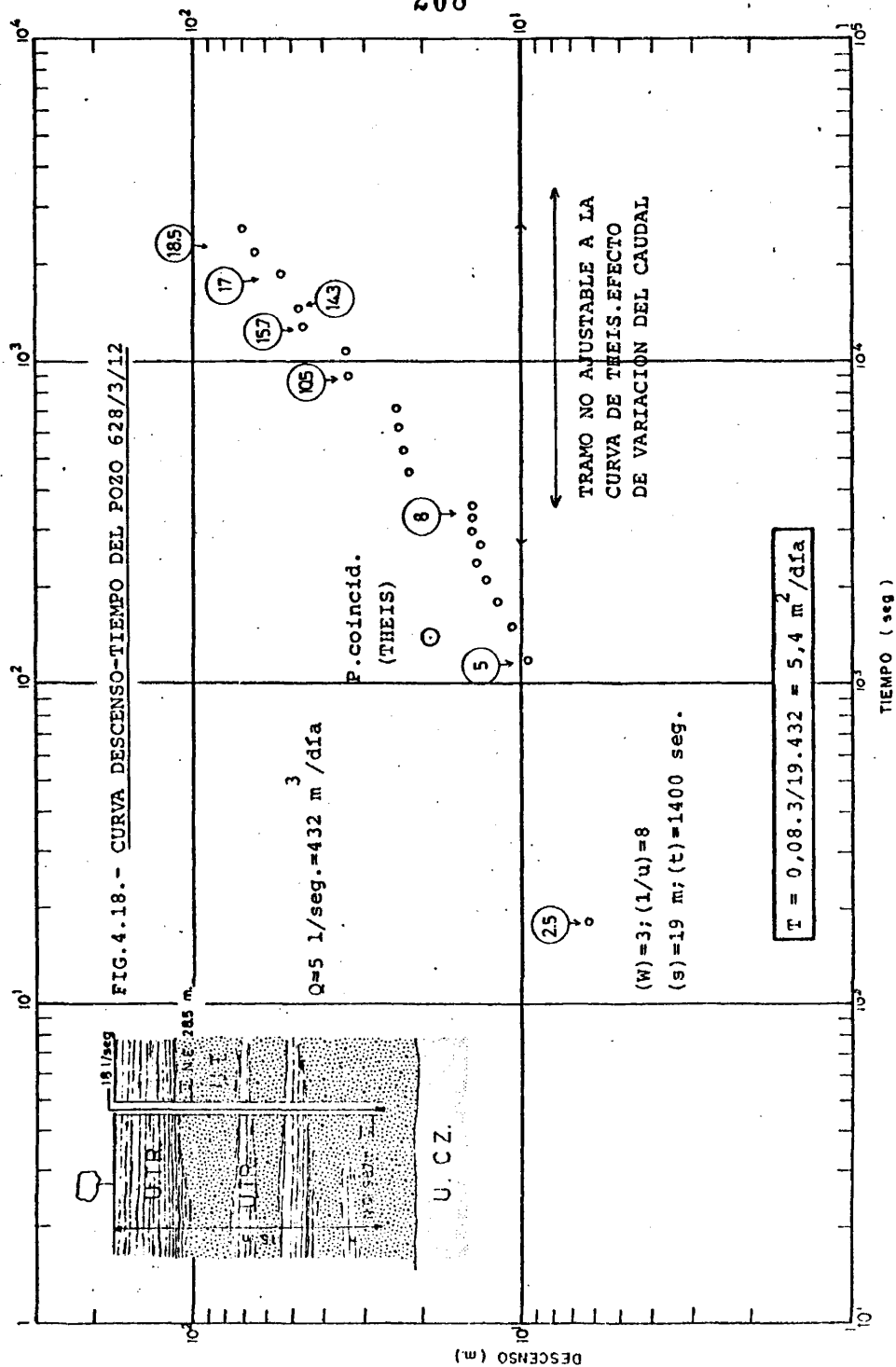
$$T = \frac{2,3 \cdot Q}{4TC (\Delta s')_{10}} \quad \text{siendo}$$











Nº DE POZO	CAUDAL (l/seg)	CAUDAL ESP. (l/seg/m)	PRICKETT (curvas B) (*)	THEIS (*)	WALTON- HANTUSH (*)	U.LITOEES- TRAT.	FIG.
628-3-2	8	0,38	12,3	13,8	9,2	U.T.+U.Tr.	4.5
603-2-5	5	0,30	9,6	10,4	10,4	U.T.	4.13
603-3-1	6,1	0,11	-	-	3,3	U.T.	4.14

(\*) : en m<sup>2</sup>/día.

Tabla 4.3.- RESULTADO DE LA INTERPRETACION DE LAS CURVAS DESCENSO-TIEMPO DEL TIPO III.

Nº DE POZO	CAUDAL (l/seg)	CAUDAL ESP. (l/seg/m)	PRICKETT (curvas A) (*)	THEIS (1 <sup>ex</sup> -tram) (*)	WALTON- HANTUSH (*)	U.LITOEES- TRAT.	FIG.
558-3-11	4	0,23	5,8	6,9	6,2	U.N + U.T	4.15
603-5-5	7	0,15	5,1	-	5,4	U.Cz + U.I	4.16
603-7-7	11	0,33	11	-	14,2	U.T + U.Tr	4.17
628-3-12	5	0,35	-	5,4	-	U.T + U.Tr	4.18

(\*) : en m<sup>2</sup>/día

Tabla 4.4.- RESULTADO DE LA INTERPRETACION DE LAS CURVAS DESCENSO-TIEMPO DEL TIPO IV.

## 210

T : transmisividad

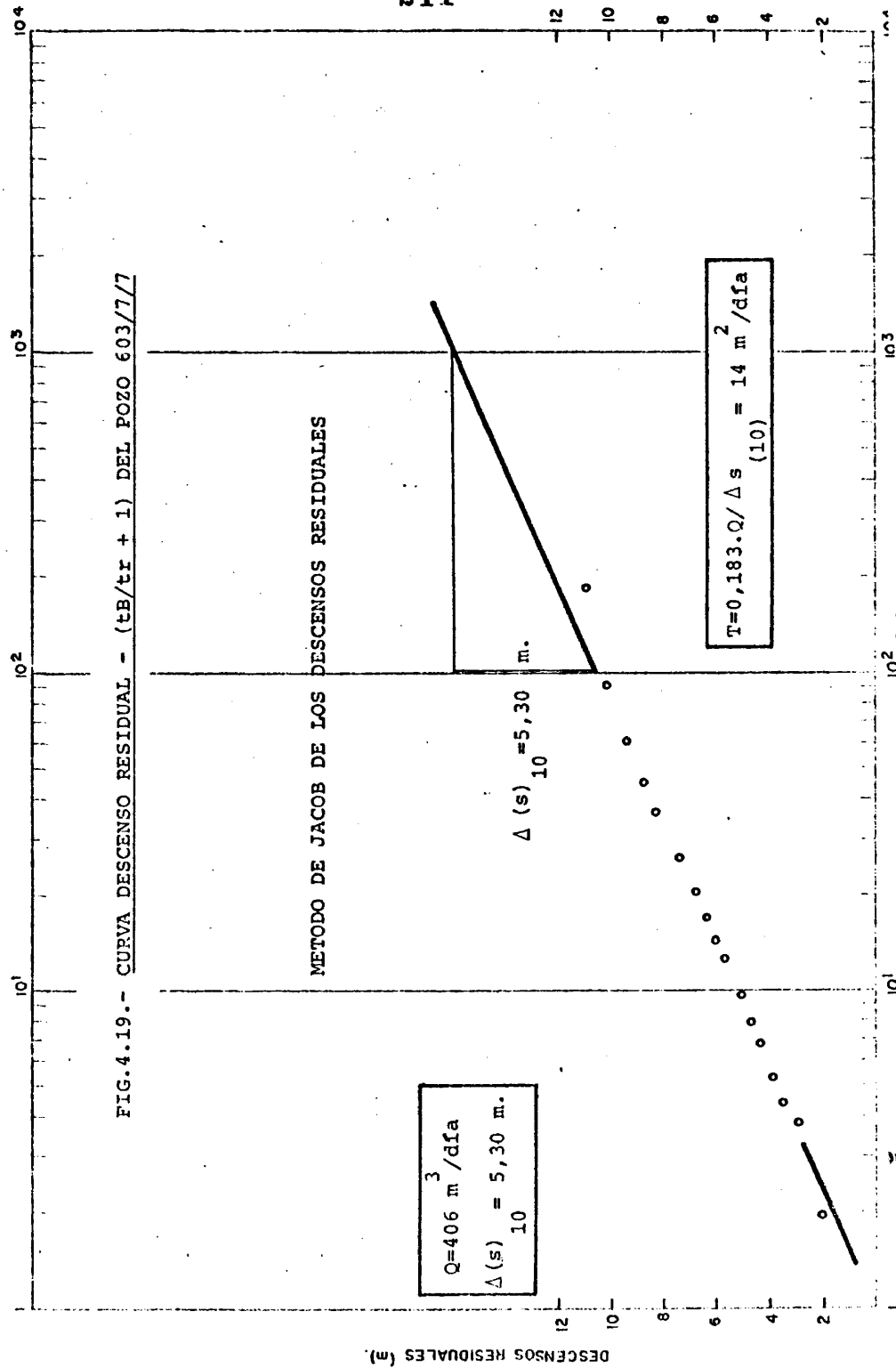
Q : el caudal con que fué bombeado el pozo.

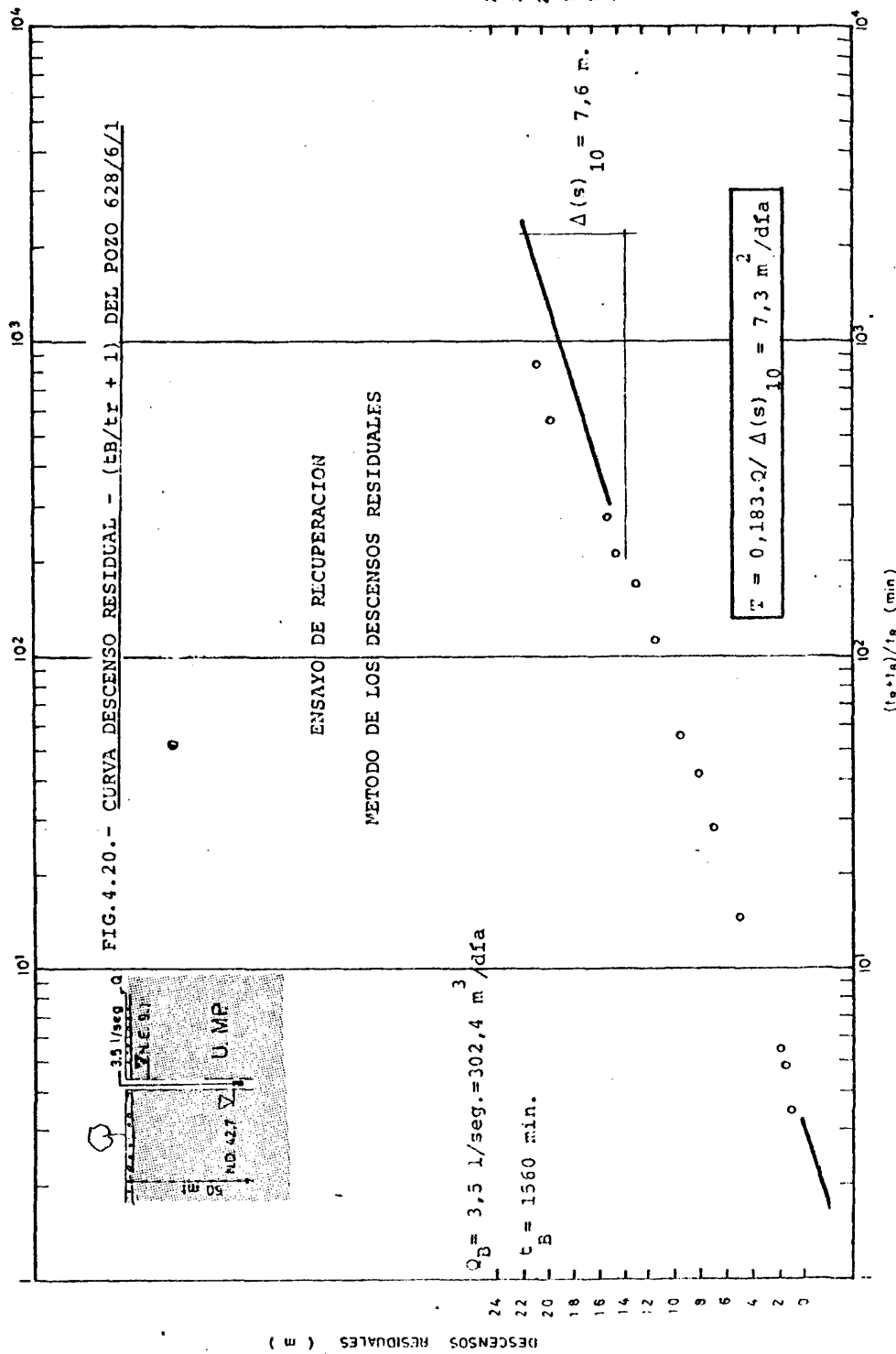
(A s')<sub>10</sub> : descenso residual correspondiente a un ciclo logarítmico en abcisas.

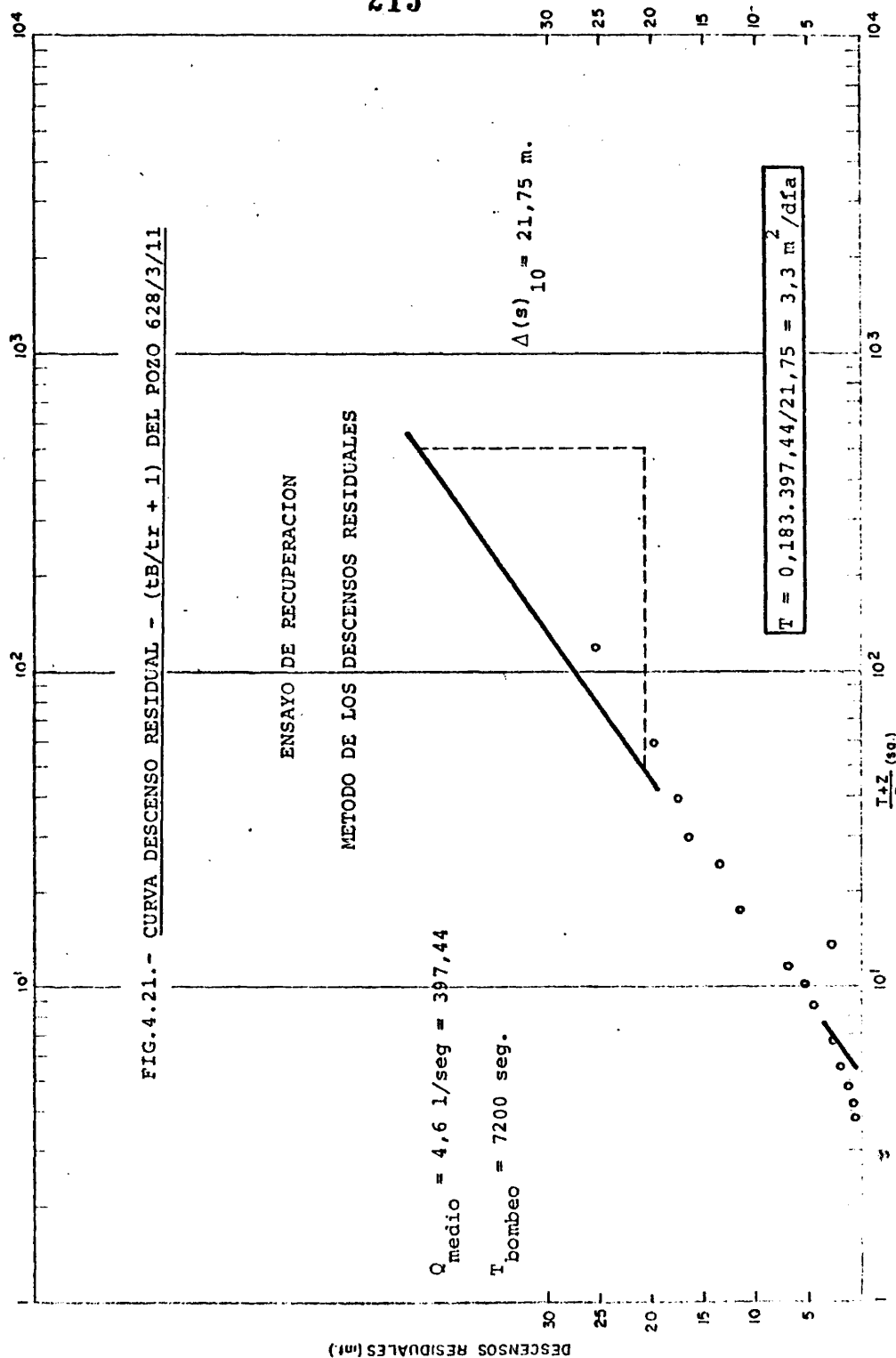
X X X X X

Hemos dispuesto en nuestro estudio de ocho ensayos de recuperación, verificados por nosotros o por diversas empresas u organismos. Los hemos agrupado de la forma siguiente :

- A) Ensayos de recuperación sin anomalías : es el caso del ensayo verificado en el pozo 603-7-7 (Fig.4.19.). Los descensos residuales medidos se adecuan a una recta a partir del instante en que es válida la aproximación de Jacob; como puede observarse, la recta tiende a pasar por el punto ( $s' = 0$ ;  $\frac{t_B}{t_r} + 1 = 1$ ). Podría incluirse también aquí al pozo 628-6-1 (Fig.4.20.), en el que se observa un ligero efecto de recarga, puesto que para  $s' = 0$ ,  $\frac{t_B}{t_r} + 1 \neq 1 \approx 3$ . Las transmisividades calculadas, y su comparación con las obtenidas en los ensayos de bombeo se pueden ver en la Tabla 4.5.
- B) Ensayos de recuperación con efectos de semiconfinamiento : es el caso de la recuperación obtenida en el pozo 628-3-11 (Fig.4.21.). Puede apreciarse un tramo rectilíneo nítido, cuya prolongación no pasa por el origen; el cálculo de T utilizando esa porción lineal da resultados sensiblemente por exceso; no obstante, en nuestro caso particular, ante transmisividades tan bajas el error cometido es pequeño, como puede observarse en la Tabla 4.5.









- C) El aspecto más frecuente que adoptan las curvas de recuperación es el que se muestra en la Fig.4.22. correspondiente al pozo 628-3-6 : un primer tramo rectilíneo desde el instante en que es válida la aproximación de Jacob, un segundo tramo lineal de menor pendiente y un tercer tramo también lineal de mayor pendiente que el segundo y que tiende a pasar por el origen. Los tramos primero y tercero son los adecuados para el cálculo de T; el tramo segundo da resultados sensiblemente por exceso (véase la Tabla 4.5).

Como los ensayos de que disponemos son de menor duración, no aparece el tramo tercero antes comentado, por lo que T debe calcularse sobre el primer tramo : es el caso de los pozos 628-3-2 (Fig.4.23.) y 558-3-11 (Fig.4.24.). Si las mediciones duran aún menos, es el tramo segundo el que se ve afectado, ya parcialmente (pozo 628-3-12, Fig.4.25.) ya totalmente (pozo 603-5-5, Fig.4.26.).

Esta forma tan característica de las curvas de recuperación podría ser la consecuencia -de acuerdo con Custodio, E., op.cit.- de un retraso en el llenado de agua de los poros ante el ascenso del nivel freático : dicho retraso podría estar originado por las dificultades que el aire encuentra para abandonar los poros en los que se introdujo cuando, a causa del bombeo, aquéllos se habían quedado vacíos.

#### 4.2.3.6.- Obtención de los coeficientes B y C

Un aspecto hasta ahora prácticamente inédito en la investigación del comportamiento hidráulico de los materiales terciarios de la cuenca de Madrid es el análisis

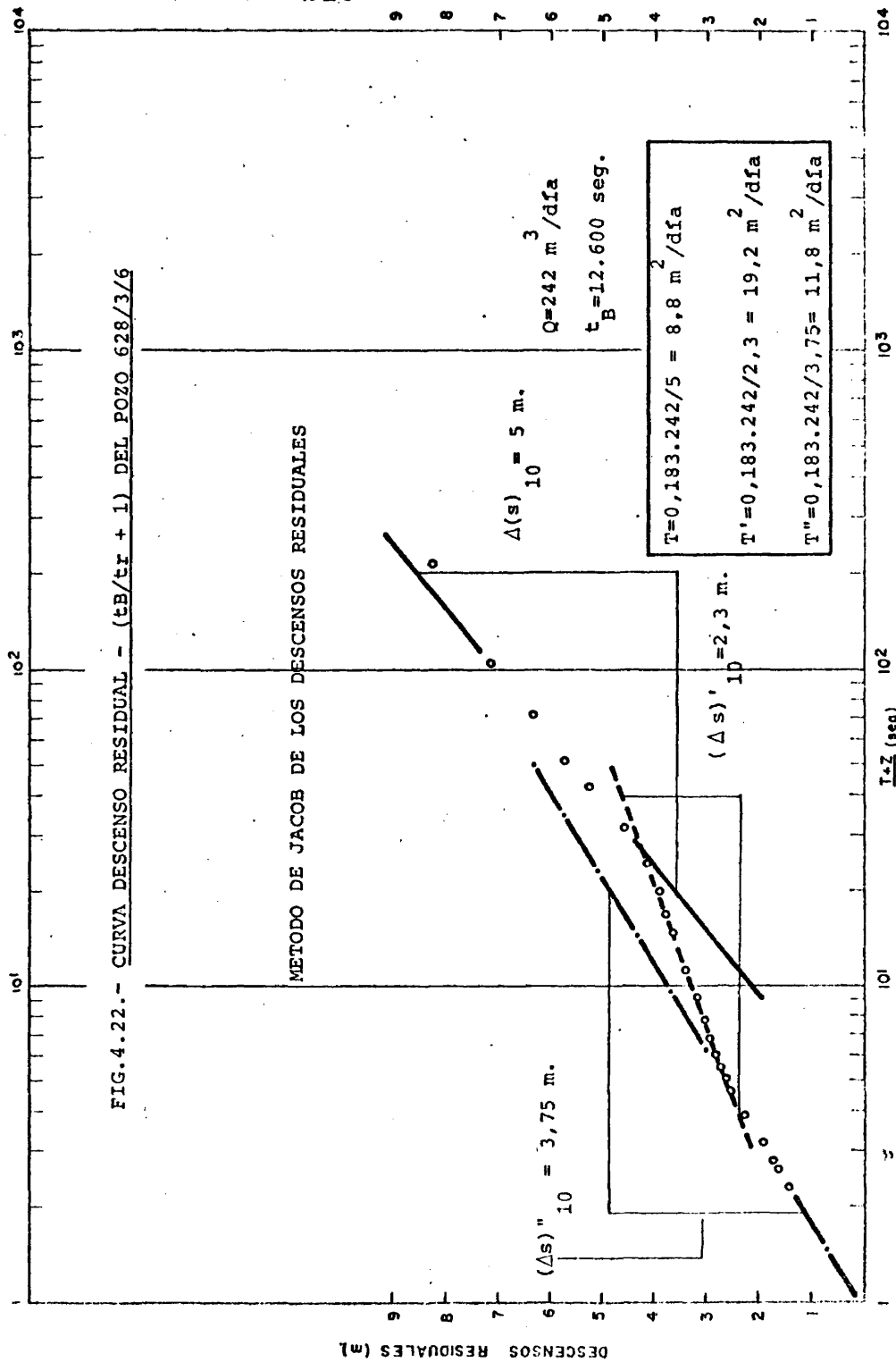
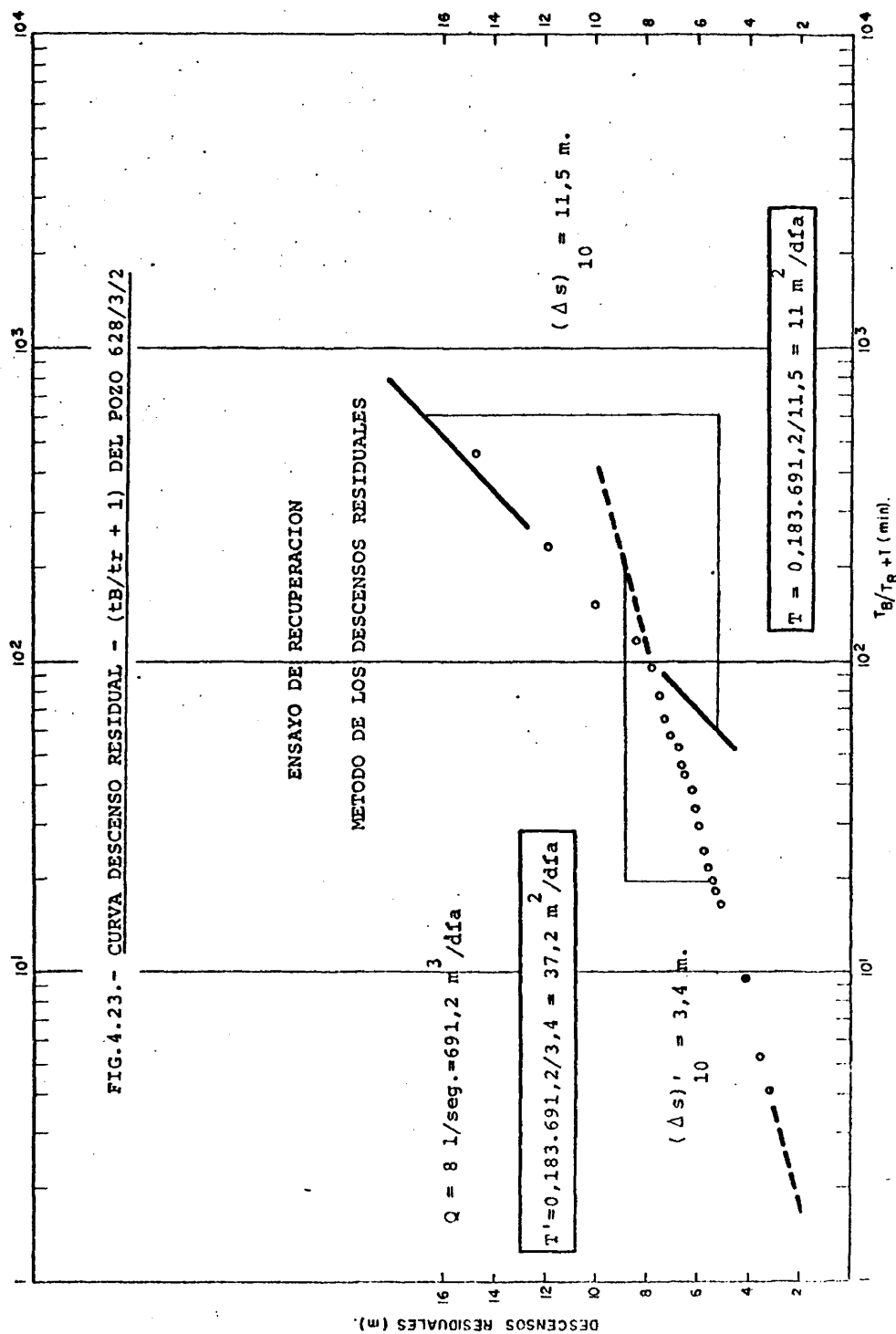
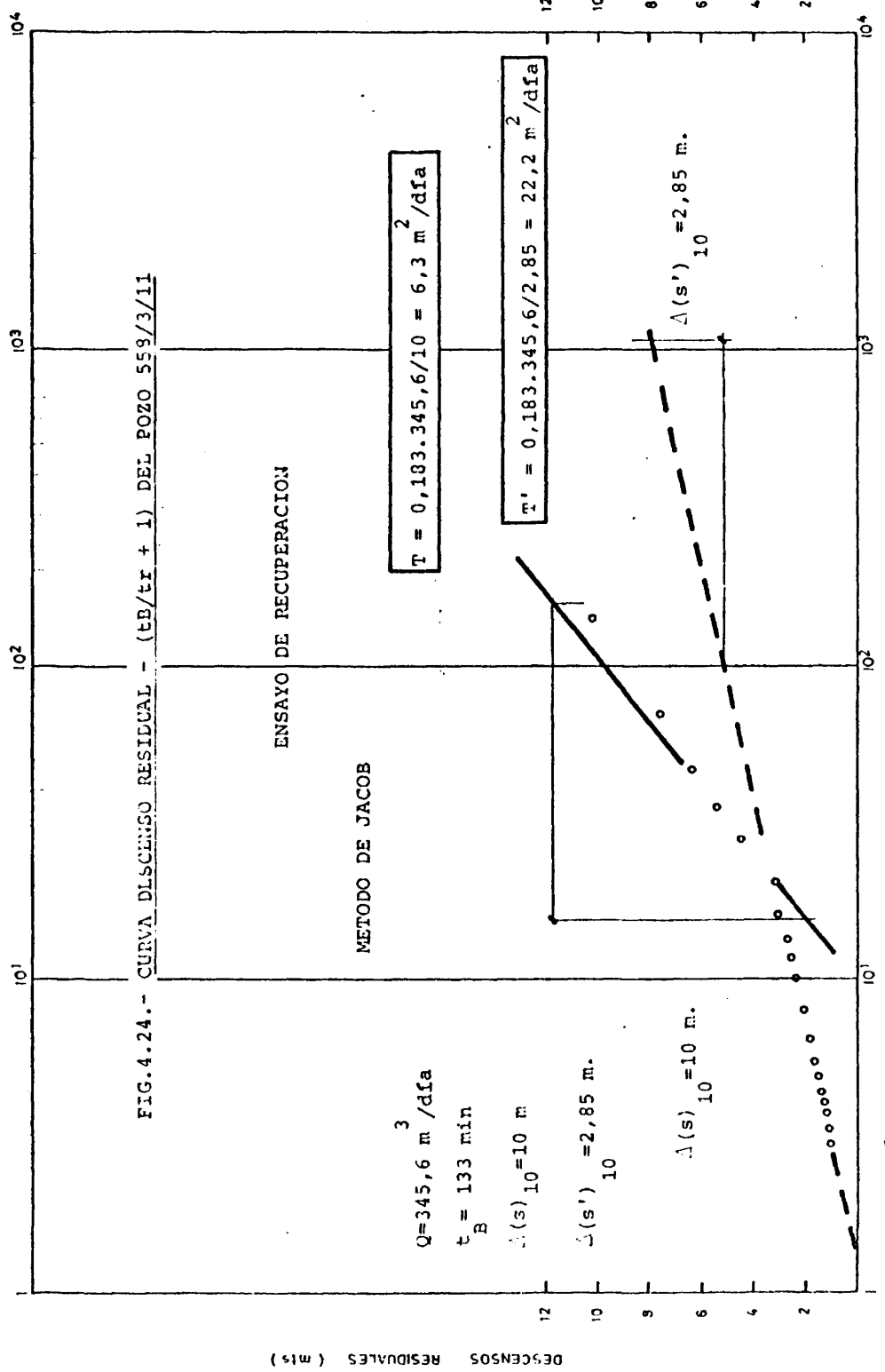
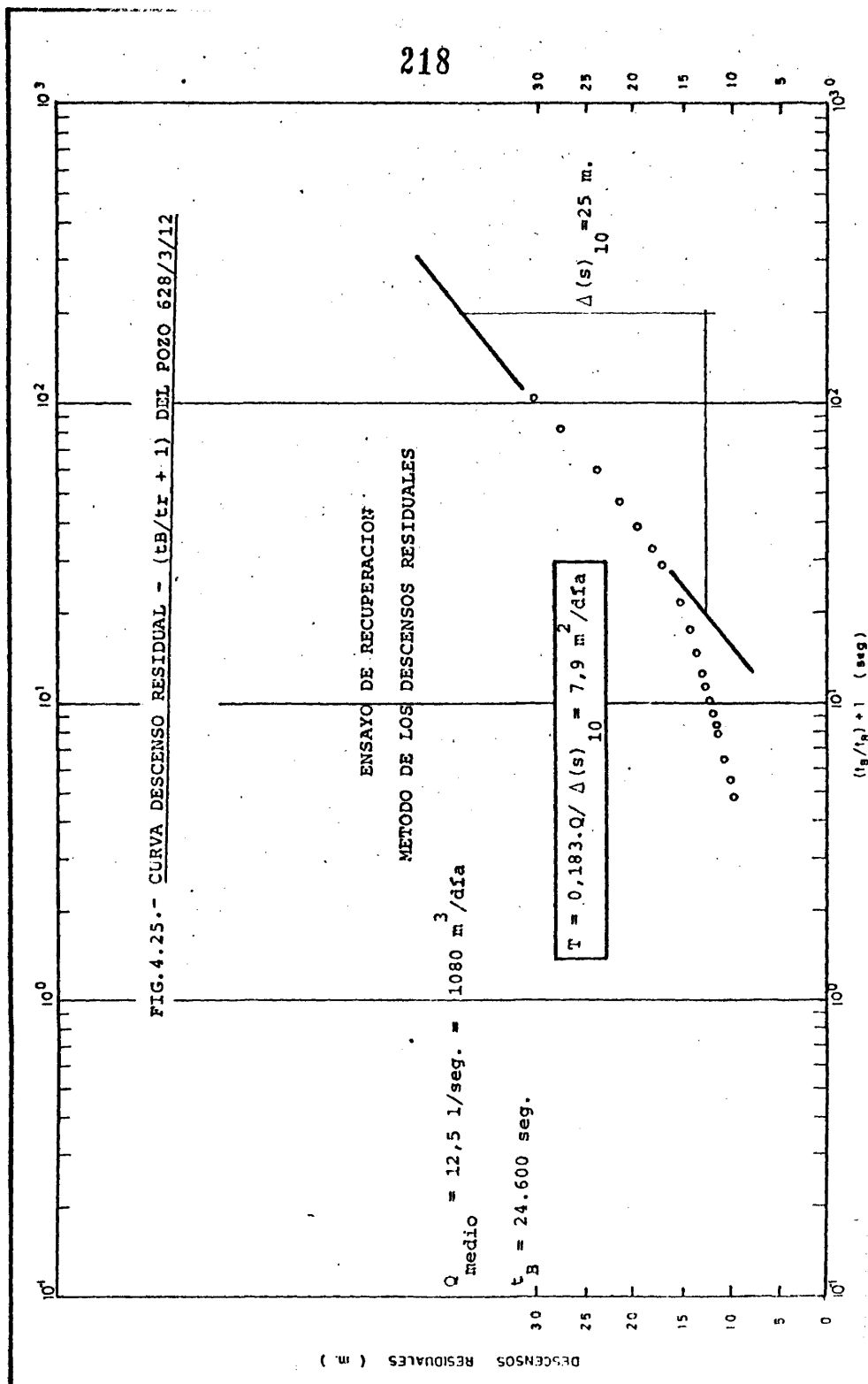
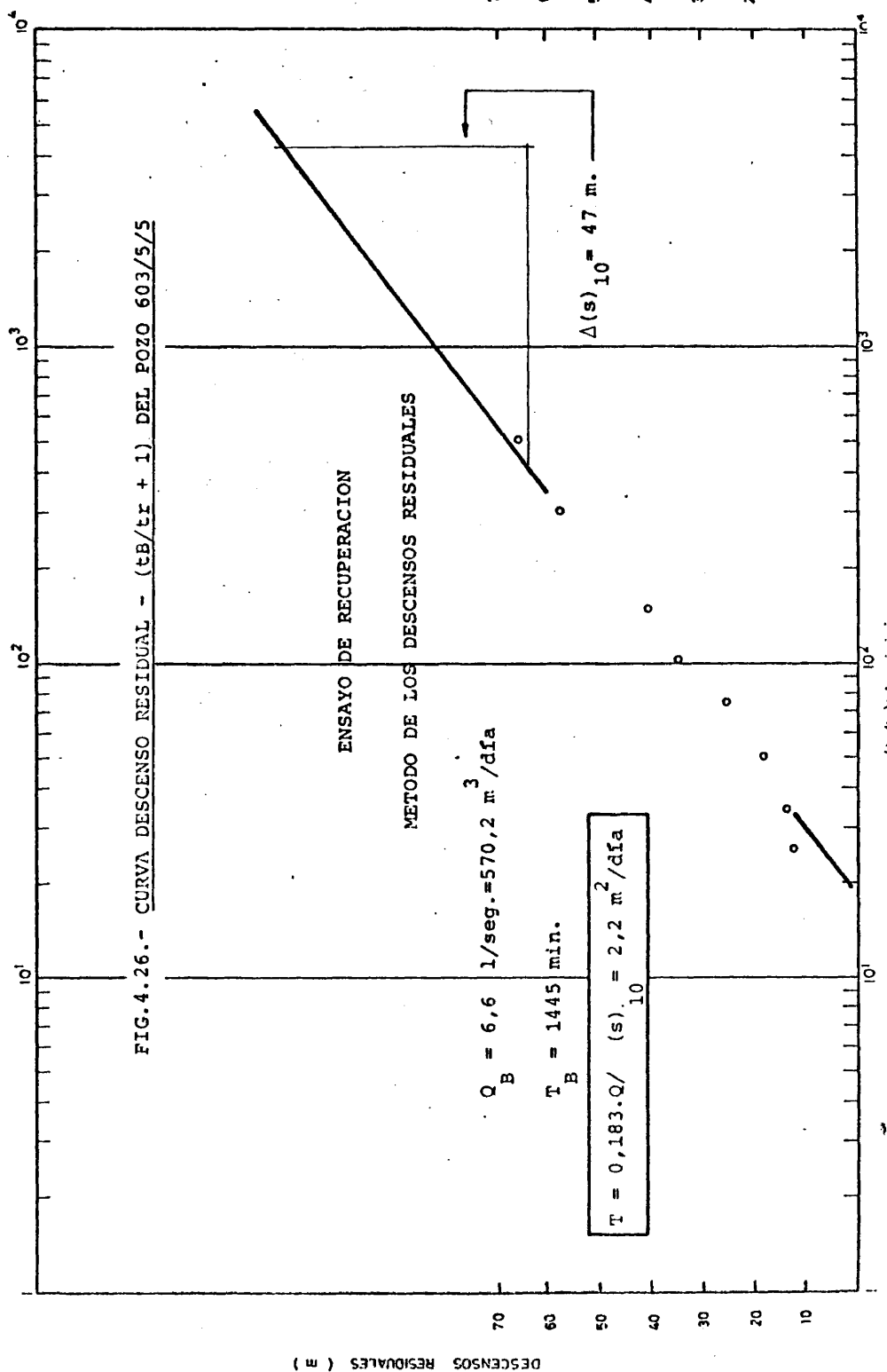


FIG. 4.23.- CURVA DESCENSO RESIDUAL -  $(t_B/tr + 1)$  DEL POZO 628/3/2







TIPO DE CURVA DESC.- TIEMPO	Nº DEL POZO	THEIS (1 <sup>er</sup> tramo) (*)	PRICKETT (curvas A) (*)	WALT.-HANT. (tem. 1°-2°) (*)	PRICKETT (curvas B) (*)	THEIS (3 <sup>er</sup> tramo) (*)	JACOB (3 <sup>er</sup> tramo) (*)	WALT.-HANT. (semiconf.) (*)	RECUPER. (*)	UNIDAD. LITOST.	FIGUR.
I	581/6/1	-	-	-	36	-	-	-	-	U.N+U.T	4.4.
	"	-	29,3	-	30	-	-	-	-	"	4.4.
	"	-	21,4	26,8	22,3	25,4	-	-	-	"	4.2
	"	-	13,2	14,2	14,2	-	-	13,2	-	"	4.3
	601/5/4	-	14,5	-	15,7	-	-	-	-	U.Cz + U.I.	4.6
II	628/3/1	-	7,8	-	-	-	-	-	-	"	4.6
	"	-	1,7	-	-	-	-	-	-	U.T.	4.7
	558/6/30	-	-	-	2,0	2,8	2,7	-	-	U.T.	4.83,B
	627/1/62	-	-	-	0,15	0,19	0,20	-	-	U.Cz + U.I.	4.9\B
	628/3/6	-	-	-	10,8	11,1	14,4	-	-	**C 8,8 19,2 11,8	4.10 A,B 4.22 4.11 4,8
III	628/3/8	-	-	-	3,2	3,4	2,9	-	-	-	-
	628/3/11	-	-	-	1,7	1,8	2,7	-	-	**B 3,3	4.12A,B U.T.
	628/3/2	-	-	-	12,3	13,8	14,7	9,2	C 11 37,2	U.T. + U.T.R.	4.5 Y 4.23
	601/2/5	-	-	-	9,6	10,4	-	10,4	-	U.T.	4.13
	603/3/1	-	-	-	-	-	-	3,3	-	U.T.	4.14
IV	558/3/11	6,9	5,8	6,2	-	-	-	-	-	**C 6,3 22,2	4.15Y 4.24
	603/5/5	-	5,1	5,4	-	-	-	-	-	**C 2,2	U.Cz + U.I.
	603/7/7	-	11	14,2	-	-	-	-	-	**A 14	4.17Y U.T. + U.T.R.
	628/3/12	5,4	-	-	-	-	-	-	-	**C 7,9	U.T. + U.T.R.
	628/6/1	-	-	-	-	-	-	-	-	**A 7,3	U.NP 4.20

(\*) : valores en m<sup>2</sup>/día

\*\*A, B o C : tipo de curva de recuperación (ver epígrafe 4.2.3.5.)

TABLA 4.5.- CUADRO RESUMEN DE LOS VALORES DE TRANSMISIVIDAD CALCULADOS POR MÉTODOS DIVERSOS

sis del descenso en los pozos. Hasta ahora todos los análisis de los datos de descensos del nivel de agua en los pozos, incluido el que se ha hecho en este capítulo, se han orientado, aún en el caso de no poseer otros descensos que los obtenidos en el propio pozo de bombeo, hacia el cálculo de un parámetro "clásico" : la transmisividad; un parámetro hidráulico de un "acuífero real inexistente" (Sánchez de la Torre, L., 1.976), como ya comentamos antes. En este apartado se va a obtener la ecuación del descenso del agua en el pozo 603-5-4, para lo cual se calcularán los coeficientes B y C (coeficientes de pérdida de circulación en la formación y en el pozo, respectivamente) a partir de un ensayo escalonado de bombeo.

De acuerdo con Rorabaugh (1.953), citado por Custodio, E., op.cit., la ecuación del descenso en un pozo es de la forma

$$s_p = B \cdot Q + C \cdot Q^n \quad \text{siendo}$$

$s_p$  : descenso medido en el pozo

$Q$  : caudal de bombeo

$n$  : una constante que puede valer desde 1 a 3,5; en el caso que nos ocupa, puede considerarse aceptable que  $n = 2$ .

En la Fig.4.27 se muestra el cálculo de los descensos  $s_1$  y  $s_2$  producidos en el pozo por los caudales sucesivos  $Q_1$  y  $Q_2$ , para un tiempo de referencia de 240 minutos (Custodio, E., op.cit., propone un tiempo de referencia de 60 minutos). Si se acepta que  $n = 2$ , puede plantearse el siguiente sistema de dos ecuaciones :

$$26,26 = B \cdot Q_1 + C.$$

$$34,64 = B \cdot Q_2 + C.$$



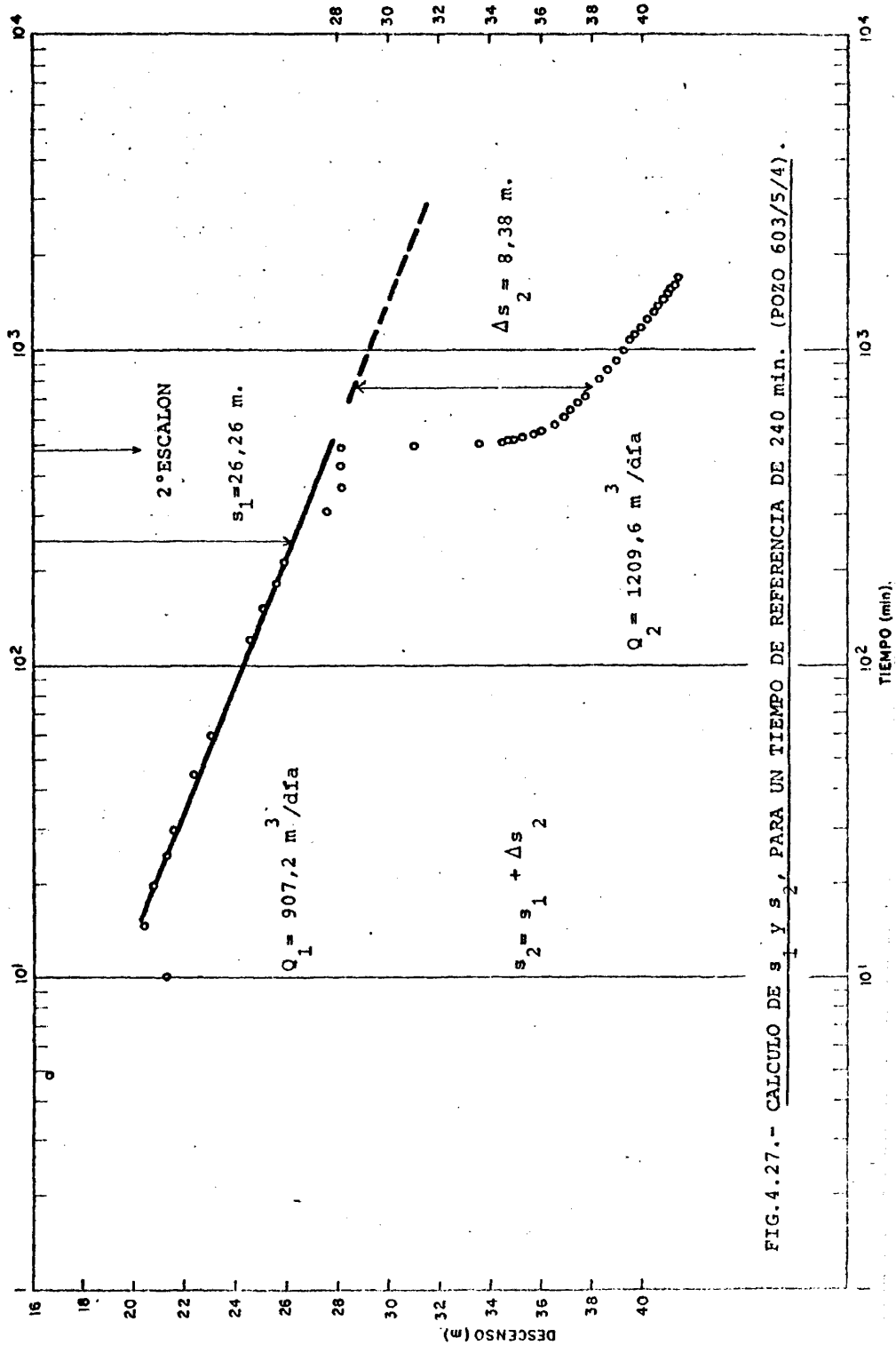


FIG.4.27.- CALCULO DE  $s_1$  Y  $s_2$ , PARA UN TIEMPO DE REFERENCIA DE 240 min. (POZO 603/5/4).

En la Fig.4.28 se muestra la resolución gráfica del citado sistema : simplemente consiste en representar  $Q_1$  y  $Q_2$  frente a  $1/Q_1$  y  $2/Q_2$ . El resultado es el cálculo de los coeficientes B y C :

$$B = 29,87 \cdot 10^{-3} \text{ días/m}^2.$$

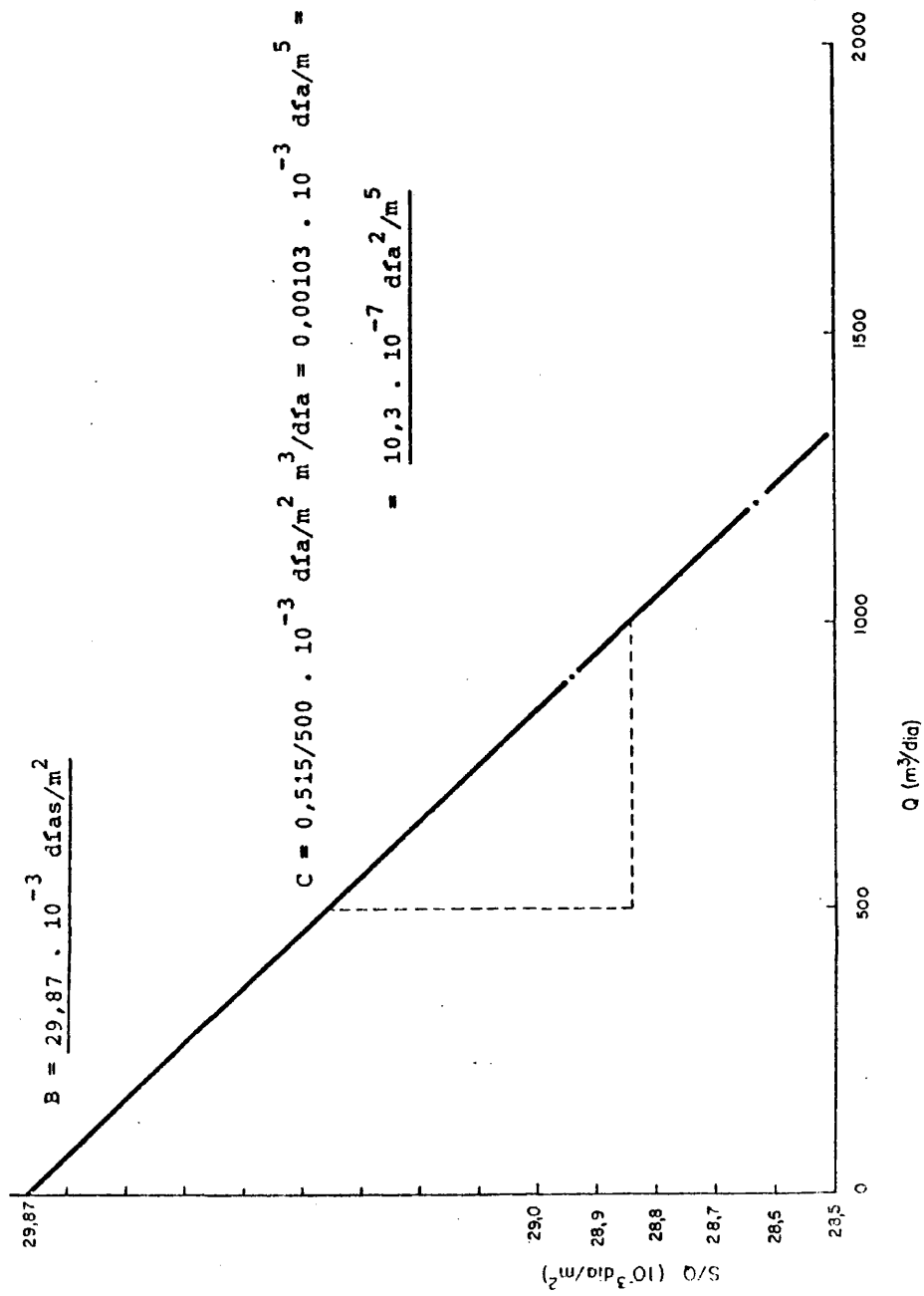
$$C = 10,3 \cdot 10^{-7} \text{ días}^2/\text{m}^5$$

El coeficiente B es variable con el tiempo de bombeo. No está claramente definido : aunque en principio corresponde solo a pérdidas en el acuífero, suele incluir efectos de penetración parcial, anisotropía, reducción de espesor saturado e incluso pérdidas en el pozo proporcionales al caudal de bombeo (Custodio, E., op.cit.).

Por el contrario, el coeficiente C depende únicamente de las características tecnológicas y constructivas de la captación; si se conoce el valor de C de un conjunto de pozos emplazados en la misma formación, se pueden hacer comparaciones. Aunque la validez de este coeficiente como indicador de la correcta construcción del pozo ha sido puesta en entredicho por diversos autores, de admitirse la regla orientativa propuesta por Walton (citado por Custodio, E., op.cit., pág.835), el coeficiente C calculado, por estar comprendido entre  $2,5 \cdot 10^{-7}$  y  $50 \cdot 10^{-7}$ , indicaría un ligero principio de taponamiento de los filtros; en general puede considerarse como un pozo bien construido dado que la reducción del caudal específico durante el ensayo escalonado es inferior al 10% (ver Tabla 4.1.).

En el caso del acuífero que nos ocupa, las extrapolaciones de descenso para medir  $\Delta s$  en el caso de escalones de corta duración, puede ser peligrosa pues la

FIG. 4.28.- PROCEDIMIENTO GRAFICO PARA EL CALCULO DE LOS PARAMETROS B Y C.



aparición de los efectos de drenaje diferido y de semi-confinamiento que ya hemos comentado puede hacer que los descensos extrapolados sean muy diferentes de los que se observarían en el pozo si el escalón de bombeo hubiera tenido una mayor duración.

#### 4.2.4.- Geometría de las diversas unidades litoestratigráficas y parámetros hidráulicos

##### 4.2.4.1.- Unidad Navalcarnero (U.N.)

En la cuenca del Alberche presenta una superficie de afloramiento de 348 Km<sup>2</sup>; su espesor oscila entre un máximo de 100 mts. en las zonas de divisoria con el río Guadarrama y cero metros allí donde ha sido integralmente desmontada por la erosión (ver planos n<sup>os</sup> 2, 3 y 5). Como ya se ha comentado en el epígrafe 3.3.3.2.4., presenta un neto carácter transgresivo sobre las unidades que integran el episodio de sedimentación TM<sub>2</sub> anterior (Unidades Tosco, Torrijos y El Carpio) (ver plano n°2, 5.4, 5.5 y 5.8).

La superficie de separación entre esta unidad y la subyacente Tosco parece mostrar algunas inflexiones que en nuestra opinión, siguiendo a Alfa, M. (1.960) son reflejo del juego de bloques del basamento : quizá el mejor ejemplo sea el del plano 5.8 y el corte I-I' del plano n°2; puede verse en ellos como la citada superficie refleja perfectamente la subfosa de Brunete (Cadauid, S., 1.977) y el umbral de Navalcarnero.

La transmisividad obtenida para el primer escalón de bombeo del pozo 581-6-1 puede asimilarse a grandes rasgos a esta unidad : 36 m<sup>2</sup>/día; no obstante, la deducida para el pozo 558-3-11 es menor (ver Tabla 4.5.).

En cualquier caso opinamos que los materiales de esta unidad son los más permeables de toda la zona estudiada. Sin embargo, como ya fue hecho observar por López Vera, F. (1.975), por quedar circunscrita a áreas de interfluvio, su interés, desde el punto de la captación de las aguas subterráneas que por ellos fluyen queda reducido.

No quiere decir esto que no tengan "interés hidrogeológico"; el papel de esta unidad sería, a gran escala, semejante al ya comentado de los complejos de terrazas altas del Alberche y del Tajo : la existencia de materiales más permeables en áreas de interfluvio, que como más adelante se verá son áreas de recarga en el modelo supuesto, unido a las pendientes suaves que la superficie topográfica presenta en esas zonas, debe facilitar la infiltración del agua procedente de las precipitaciones, con lo que el volumen de recursos hidráulicos subterráneos anuales será mayor que si una formación poco permeable ocupara el lugar de la unidad Navalcarnero.

Ante el contraste de permeabilidad que normalmente se observa entre los materiales de esta unidad y los tramos superiores de la unidad Tosco subyacente, el muro de la primera queda a veces indicado por la existencia de pequeños manantiales, realmente pequeñas superficies de rezume. Ejemplos de esto pueden verse en el plano 5.1. (punto 558-6-44) y 5.2 (punto 581-2-40). En el poblado de La Cepilla, al oeste de Brunete, y justo en el muro de la unidad Navalcarnero, Bentabol, H. (1.906) habla de la existencia de una galería de captación de 800 m. de longitud que proporcionaba un caudal de 250 l/seg.

#### 4.2.4.2.- Unidad Tosco (U.T.)

Es la unidad que presenta la mayor superficie de afloramiento de todas las consideradas en nuestro estudio : entre esta y su equivalente en "facies Toledo" -la unidad El Carpio- se alcanzan los 821 Km<sup>2</sup>. Su espesor es asimismo el mayor de todos : entre 130 y 140 m.

Es la unidad en la que en mayor grado son captadas las aguas subterráneas que por ella fluyen, ya que en ella están emplazados el mayor número de pozos de toda la región estudiada. No obstante, las transmisividades que se han deducido son bajas : entre 2 y 10 m<sup>2</sup>/día (ver Tabla 4.5.).

#### 4.2.4.3.- Unidad El Carpio (U.C.)

Los materiales que integran esta unidad corresponden al episodio de sedimentación TM<sub>2</sub> en "facies Toledo"; afloran solamente en una pequeña extensión al sur de la zona estudiada. Sus tramos superiores pasan, por cambio lateral de facies, a los materiales de la unidad Torrijos; los tramos inferiores se indentan con los materiales de la unidad Tosco. No disponemos de ninguna valoración de transmisividad.

#### 4.2.4.4.- Unidad Torrijos (U.Tr.)

Los materiales de las unidades Tosco y El Carpio pasan lateralmente y hacia techo a facies lagunares de centro de cuenca, de las que son representante los materiales de la unidad Torrijos, los más occidentales de este tipo en la Cuenca de Madrid. Tiene un marcado carácter transgresivo sobre ambas, más acusado si cabe

sobre la unidad Tosco (ver plano 5.4); no obstante se acuña hacia el W (ver plano 5.5) de modo que a la altura de Carriches - La Mata apenas puede observarse.

A pesar de que su superficie de afloramiento es de  $36 \text{ Km}^2$ , numerosos pozos están emplazados en ella propiamente dicha o en la zona de tránsito lateral unidad Torrijos - unidad Tosco; las transmisividades obtenidas oscilan entre 2 y  $14 \text{ m}^2/\text{día}$  (ver Tabla 4.5).

#### 4.2.4.5.- Unidad Cazalegas (U.Cz.).

Junto con su homóloga en "facies Toledo" del episodio de sedimentación  $\text{TM}_1$  -unidad Malpica-, su superficie de afloramiento es de  $90 \text{ Km}^2$ . El espesor es de unos 80 m. Como ya hemos comentado, de esta unidad y de la que sigue, solo es visible la mitad superior.

Las transmisividades que se han deducido están comprendidas entre 5 y  $15 \text{ m}^2/\text{día}$  (ver Tabla 4.5). El coeficiente B de pérdidas de circulación en la formación, calculado en el pozo 603-5-4, ha sido de  $29,97 \cdot 10^{-3} \text{ días /m}^2$ .

#### 4.2.4.6.- Unidad Malpica (U.Mp.)

La transmisividad calculada en solo un punto mediante un ensayo de recuperación ha resultado ser de  $7 \text{ m}^2/\text{día}$ .

#### 4.2.4.7.- Unidad Inferior (U.I.).

Como ya se comentó en el apartado 3.3.3.2.1. del capítulo anterior, la caracterización de esta unidad ha sido hecha por sondeos unicamente; en nuestra opinión, dada la similitud encontrada con los materiales de episodios sedimentarios más recientes, el medio de sedimentación ha debido ser de las mismas características que el de aquéllos. Como es lógico, no se conoce el límite inferior de esta unidad.

Las transmisividades deducidas están comprendidas entre 0,2 y 6 m<sup>2</sup>/día

#### 4.2.5.- Parámetros hidráulicos obtenidos por métodos de laboratorio.

La obtención de algunos parámetros hidráulicos de la unidad terciaria -tales como la permeabilidad y la transmisividad- a partir del análisis de muestras tomadas en el campo, o de detritus de perforaciones, mediante un permeámetro de carga constante, es el objeto de una serie de trabajos cuyo común denominador es el haber sido realizados por alumnos del Curso de Hidrogeología "Noel Llopis" en diversas ediciones, bajo la dirección del profesor Vilas.

Esta línea investigadora trató de establecer en un principio una metodología válida para este tipo de formaciones, analizando la influencia de la compactación y la granulometría del material que se ensayaba en la permeabilidad obtenida (Butenko, J. y Cuevas, M., 1.975) y la variación de la permeabilidad con la profundidad (Rodríguez, A., 1.976; Alvarado, A. y Muamba, K., 1.976); un segundo paso ha sido iniciado con el estudio de casos reales : en nuestra zona de trabajo, Cáceres,



T., et al. (1.977) analizan los detritus obtenidos de la perforación, por el método de rotación con circulación directa de lodos, del pozo 627-1-62; obtienen una transmisividad de  $3,77 \text{ m}^2/\text{día}$ , cuya comparación con el valor obtenido por nosotros de la interpretación de la curva descenso-tiempo ( $0,2 \text{ m}^2/\text{día}$ ; ver Figs. 4.9 A y B) puede considerarse aceptable si se tiene en cuenta que los descensos se midieron en el propio pozo.

López Vera, F. (1.975) obtiene, también mediante el permeámetro de carga constante, valores de permeabilidad de 5,3 y 128 cm/día para muestras tomadas en el campo y por tanto presumiblemente alteradas. Por nuestra parte diremos que en la actualidad codirijimos, conjuntamente con el profesor Vilas, el trabajo práctico de dos alumnos de la presente edición del curso de Hidrogeología "Noel Llopis", encaminado a conocer la transmisividad a partir del análisis del testigo obtenido en la perforación del sondeo 603-3-7.

Una serie de consideraciones pueden ser hechas sobre este tipo de ensayos :

- La primera es que al tener normalmente que reconstituir la muestra se pierde la estructura original. En este tipo de materiales se pierde un carácter tan importante como es la anisotropía del sedimento; la permeabilidad así obtenida es una permeabilidad global de la formación que de acuerdo con Ernst y Westerhof (1.956) citado por Custodio, E. (op.cit.) debe estar comprendida entre la original permeabilidad horizontal ( $K_h$ ) y  $\sqrt{K_h \cdot K_v}$  ( $K_v$  ; permeabilidad vertical del sedimento).
- La segunda es que ante el importante contenido arcilloso de esta unidad terciaria el cálculo de la permeabilidad puede verse muy afectado si se utiliza un agua con

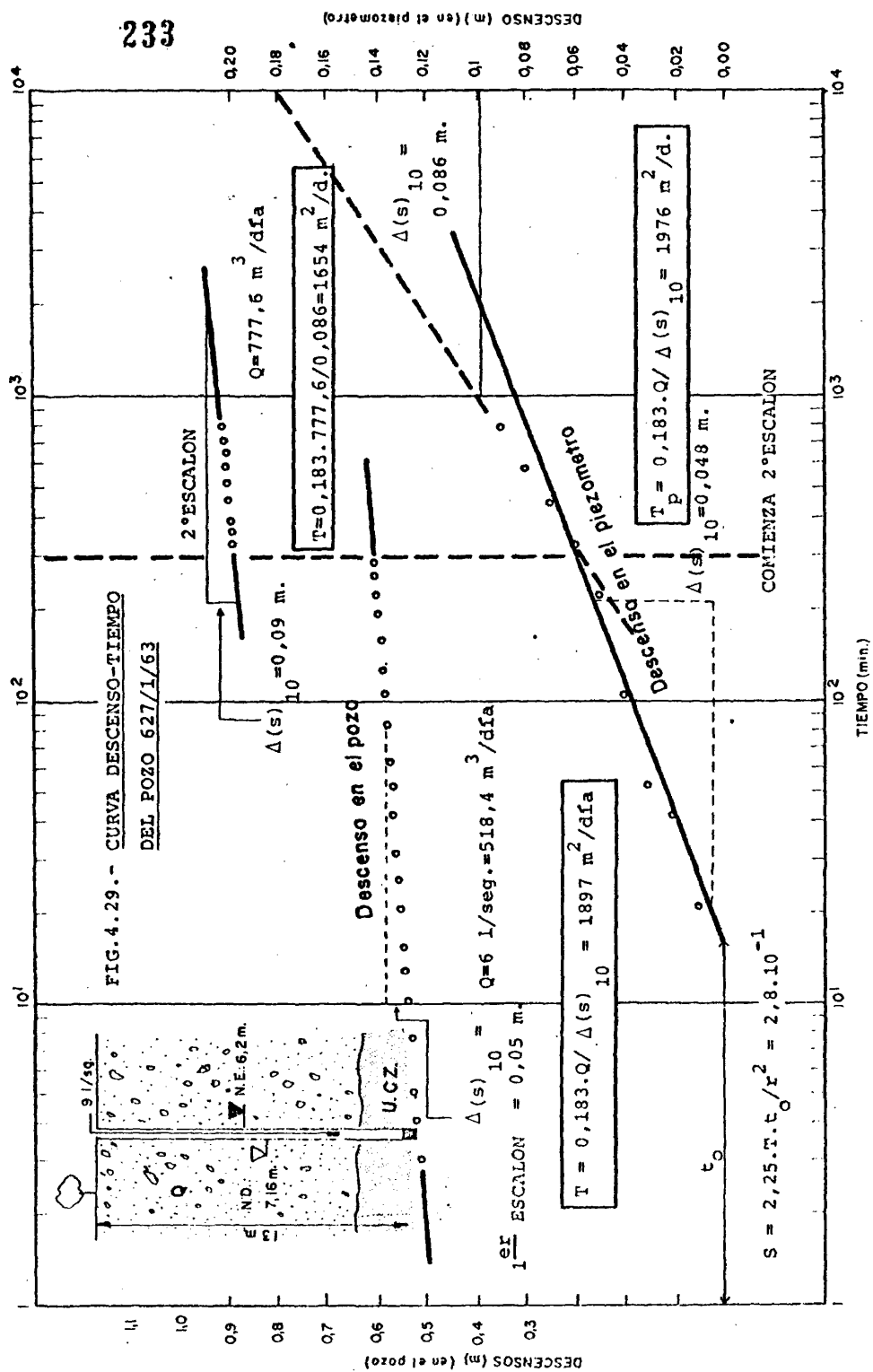
un quimismo muy diferente al que posee la que normalmente fluye por la formación.

#### 4.3.- CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DE LOS DEPOSITOS ALUVIALES ACTUALES.

Los depósitos aluviales del Alberche, a pesar de sus buenas características desde el punto de vista litológico, tienen poco interés en lo que se refiere al aprovechamiento de las aguas subterráneas en ellos contenidas, dado su poco importante espesor, generalmente próximo a los 6 m.; esta es la tónica que se mantiene desde algo aguas arriba de Escalona hasta la desembocadura en el Tajo. No obstante, como ya hemos comentado, entre Aldea del Fresno y El Alamín se observan espesores entre 12 y 16 m., lo que unido a unas características granulométricas apropiadas permite la obtención de caudales específicos de 10, 26,6 e incluso de 62,5 l/seg/m. (ver plano nº4), como es el caso del pozo de drenes radiales utilizado para el abastecimiento de Aldea del Fresno.

Los depósitos aluviales del Tajo tienen en general mayor espesor, al menos en el tramo abarcado por nuestro estudio : entre 6 y 8 m. entre El Carpio y Malpica, parece aumentar ligeramente hacia el W., alcanzándose los 10 m. en los alrededores de Talavera de la Reina. Los caudales específicos oscilan entre 1 y 10 l/seg/m., con valores medios entre 5 y 7 l/seg/m. (ver plano nº4); en cualquier caso, un estudio específico más detallado de estos depósitos desde el punto de vista hidrogeológico fué hecho anteriormente por nosotros y a él nos remitimos (Sastre, A., 1.975).

En último extremo, estos materiales deben comportarse como un acuífero libre que, como más adelante veremos, recibe recarga a través de su base procedente de la unidad terciaria; de acuerdo con Custodio, E. (op.cit.) debería hablarse de un acuífero semilibre. No obstante, un ensayo de bombeo realizado en el área de Talavera sobre un pozo de pequeño diámetro (627-1-63), totalmente penetrante respecto a esta unidad (ver Fig. 4.29), ha sido aceptablemente interpretado aplicando el método de Jacob; no fue preciso la corrección de los descensos ya que estos eran pequeños respecto al espesor saturado. La transmisividad deducida del análisis del descenso en el pozo ( $1.897 \text{ m}^2/\text{día}$ ) es algo más pequeña que la deducida de la curva descenso-tiempo observada en el piezómetro ( $1.976 \text{ m}^2/\text{día}$ ); el valor del coeficiente de almacenamiento (S) obtenido, coincidente en este caso con la porosidad eficaz, ha sido de  $2,8 \cdot 10^{-1}$ .





## 5.- EL RELIEVE

Del análisis de los perfiles hidrogeológicos que presentamos (planos 5.1 a 5.9) se deduce una clara correlación del perfil topográfico con la línea de saturación; de ahí que, como López Camacho, B. (1.977) hace observar, hablar del factor relieve sea equivalente a hablar de forma de la línea de saturación. La influencia del relieve ha sido específicamente tratado por Hitchon, B. (1.969), citado por López Camacho, B. (1.977), aunque, como este autor comenta, sin generalizar y sin intención teórica.

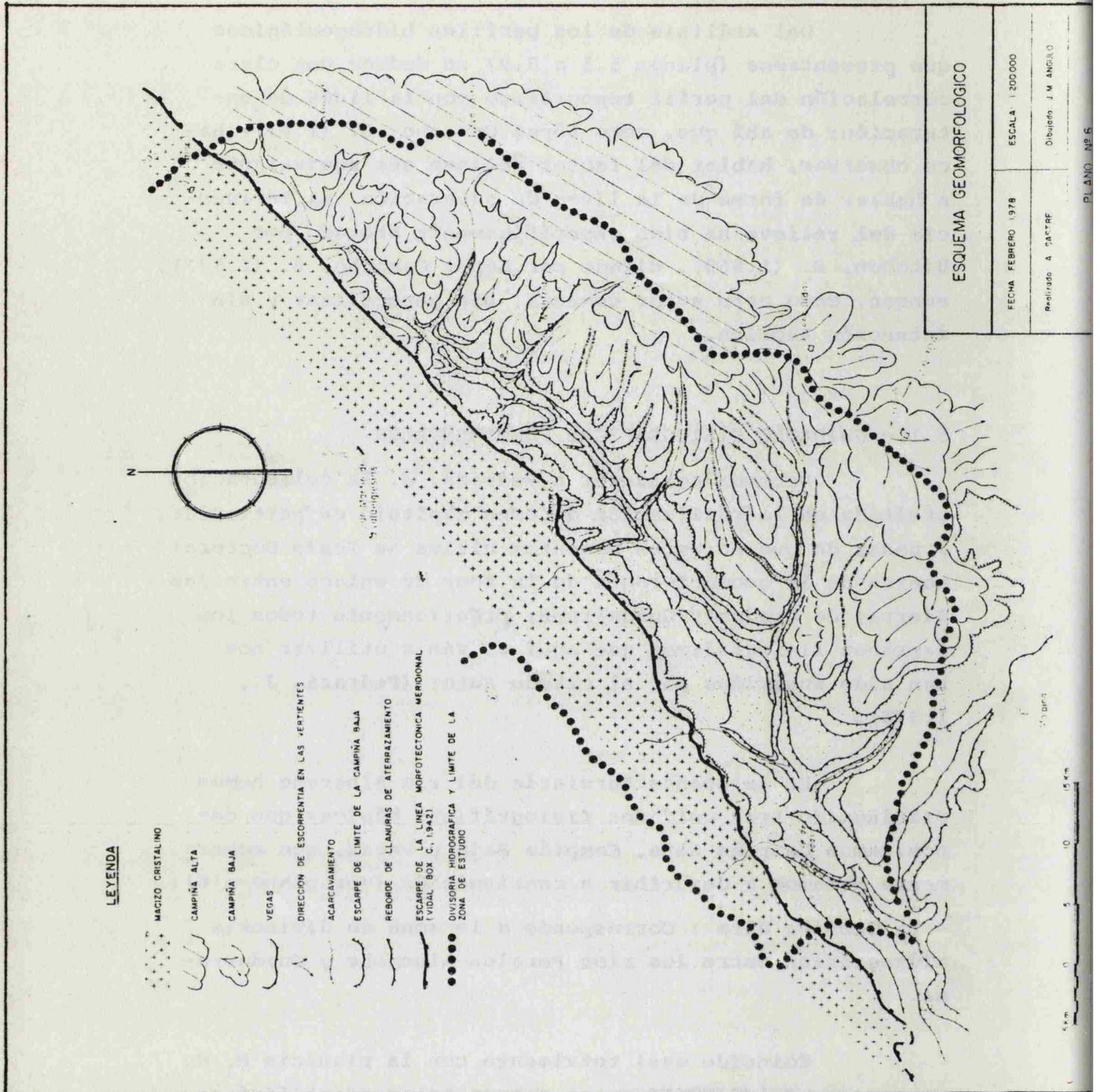
### 5.1.- UNIDADES FISIOGRAFICAS FUNDAMENTALES

Debemos agradecer a Pedraza, J. la colaboración prestada en la realización de este capítulo en particular, a pesar de que en estos momentos ultima su Tesis Doctoral acerca de la geomorfología de la zona de enlace entre las Sierras de Gredos y Guadarrama; prácticamente todos los terrenos fisiográficos que aquí se van a utilizar nos han sido sugeridos por el citado autor (Pedraza, J., 1.978).

En la cuenca terciaria del río Alberche hemos distinguido tres unidades fisiográficas básicas que denominamos Campiña Alta, Campiña Baja y Vegas, que someramente pasamos a describir a continuación (ver plano nº6):

- La Campiña Alta : Corresponde a la zona de divisoria hidrográfica entre los ríos Perales-Alberche y Guadarrama.

Coincide casi totalmente con la planicie  $M_1$  de Schwenzer, J. (1.936); ya el citado autor identificó es-



ta superficie en la por él llamada "meseta de Fuencarral-Navalcarnero". Al N. de Brunete la acción remontante de los arroyos que fluyen hacia el Guadarrama y Perales han desmontado íntegramente la citada planicie  $M_1$ , por lo que el término fisiográfico empleado supera en extensión al geomorfológico.

Su límite en el sector Villanueva de La Cañada-Brunete puede establecerse a cotas próximas a los 700 metros; el suave basculamiento hacia el SW es responsable de que en el sector Valmojado - La Torre de Esteban Hambrán dicho límite haya descendido hasta cotas próximas a los 600 metros. Asimismo, su perfil transversal muestra una ligera convexidad; sus pendientes son generalmente menores del 0,5%.

La Campiña Alta equivaldría a la Superficie Inferior de Pedraza, J. (1.976); en el macizo cristalino se correspondería con la Superficie Inferior al Piediment (Pedraza, J., 1.976; López Vera, F. y Pedraza, J., 1.976).

- La Campiña Baja : Está constituida por una superficie tipo glacis que desciende desde la Campiña Alta hacia los escarpes de frente de río -la "línea morfotectónica del Bajo Alberche" de Pedraza, J. (1.976)- o hacia las llanuras de Vega. Se trata en realidad de pequeños glacis escalonados que al ser cortados por barrancos han quedado lobulados.

El límite superior de la Campiña Baja viene determinado por el límite inferior de la Campiña Alta, que como vimos oscilaba entre cotas algo inferiores a los 700 metros y algo superiores a los 600. El límite



inferior se puede establecer a cotas comprendidas entre 500 y 540 metros; suele estar marcado, como antes decíamos, por un notable escarpe que marca el paso a la siguiente unidad fisiográfica; dicho escarpe coincide -al menos en el sector nor-oriental de la región de estudio- con una línea de fractura en el basamento (ver plano n° 2), de acuerdo con Cadavid, S. (1.977); esta fractura ya fue augurada por Pedraza, J. (1.976).

Las pendientes globales hacia los valles son mayores en esta unidad que en la anterior, estando comprendidas generalmente entre el 1 y el 3%; generalmente son cortadas bruscamente como ya hemos dicho por los escarpes de frente de río.

La Campiña Baja equivale a las Vertientes Glacis de Pedraza, J. (1.976) y de López Vera, F. y Pedraza, J. (1.976).

- Vegas : Está constituida esta unidad por los sistemas de terrazas superiores, medias y bajas, así como los depósitos aluviales actuales. Introducimos, pues, dentro de ella a las vegas en sentido estricto (vega actual) y las llanuras fluviales antiguas (terrazas); nos llevaría esto a distinguir entre las Vegas Altas y la Vega Baja (llanura aluvial actual).

El límite superior de las Vegas viene marcado por el inferior de la Campiña Baja, que, como decíamos, podía establecerse entre los 500 y 540 metros sobre el nivel del mar.

Las Vegas equivalen a las Terrazas de López Vera, F. y Pedraza, J. (1.976).

## 239

En la figura 5.1. creemos que se pueden apreciar claramente las tres unidades fisiográficas hasta aquí descritas; la foto está tomada precisamente desde el escarpe de la línea morfotectónica meridional de Vidal Box, C. (1.942): en primer término la Vega; tras un acusado escarpe las vertientes glacis de la Campiña Baja; el pueblo que se distingue en el horizonte (Villanueva de La Cañada) está emplazado sobre la Campiña Alta.

#### 5.2.- ALGUNOS ASPECTOS DEL RELIEVE EN RELACION CON LAS AGUAS SUBTERRANEAS

La Campiña Alta se instaura sobre los materiales de la unidad Navalcarnero ( $TM_3$ ); prácticamente todos los autores que han trabajado sobre la hidrogeología de la Cuenca de Madrid han reconocido en estos materiales las mejores características desde el punto de vista del aprovechamiento de sus recursos hidráulicos subterráneos, teniendo en contra sin embargo el carácter "colgado" que desde el punto de vista regional tiene la unidad por aparecer siempre en áreas de interfluvio.

Estas características hidráulicas unido a las bajas pendientes topográficas observadas en la Campiña Alta -inferiores al 0,5%- no hay duda que deben contribuir de forma importante a facilitar la infiltración del agua de las precipitaciones, que como más adelante veremos, son la única fuente de recarga de las aguas subterráneas de la región estudiada.

Este papel de la Campiña Alta en relación con la infiltración del agua de las precipitaciones se acrecienta aún más si se tiene en cuenta que en el modelo del flujo de las aguas subterráneas que en los próximos ca-



Fig.5.1.: Unidades fisiográficas de la región de estudio : Campiña Alta, Campiña Baja y Vegas. Al fondo Villanueva de La Cañada (Madrid).

pítulos se adoptará, las áreas de recarga coinciden precisamente con las zonas de interfluvio, precisamente donde dicha unidad fisiográfica se desarrolla.

El escarpe limitante de la Campiña Baja, condicionado generalmente como hemos visto por fracturas del basamento, tiene repercusión en el flujo de las aguas subterráneas, como puede observarse en el perfil hidrogeológico del plano 5.2; no obstante por el momento nos quedaremos únicamente con esta idea, para no interrumpir el hilo de la exposición : en el capítulo 8 se desarrollará con mayor profusión al comentar el citado perfil hidrogeológico.

CAPITULO 6

PARAMETROS CLIMATICOS Y ESCORRENTIA SUPERFICIAL

## 6.- PARAMETROS CLIMATICOS Y ESCORRENTIA SUPERFICIAL

Se trata en este capítulo de pasar brevemente revista a la cantidad de agua que precipita sobre nuestra región de estudio, qué fracción de ella vuelve de nuevo a la atmósfera por la acción conjunta de la evaporación y la transpiración de las plantas y, por último, qué porción de esa precipitación inicial corre por la superficie del terreno.

### 6.1.- PLUVIOMETRIA

La fuente a que con frecuencia nos remitiremos será el conocido Inventario de Recursos Hidráulicos (C.E.H., 1.971) y a S.G.O.P., C.A.T. y E.N.A.D.I.M.S.A. (1.976); en ambos, el periodo de observación considerado es el comprendido entre los años 1.940-1.963. Debemos decir que ya en las últimas fases nuestro estudio tuvimos conocimiento de una reciente publicación (C.E.H., 1.977) en la que se amplía el período de observación hasta 1.970; dado lo avanzado de nuestro trabajo optamos por mantener el período inicial elegido.

La precipitación media del período 1.940-63 oscila entre 400 mm. en las áreas sur-orientales de la región de estudio y 600 mm. en las inmediaciones del contacto con el macizo septentrional (Sierra de Gredos) (S.G.O.P., C.A.T. y E.N.A.D.I.M.S.A., 1.976 a partir de los datos contenidos en C.E.H., 1.971). En el trabajo aludido se selecciona -en cuanto a precipitación se refiere- al año 1.954-55 como medio, al año 1.944-45 como seco y al año 1.955-56 como húmedo.

La distribución mensual de la lluvia es bas-

## 243

tante regular entre octubre y mayo, apareciendo normalmente dos máximos correspondientes a los meses de noviembre-diciembre -más acusado- y otro más variable situado generalmente entre marzo y mayo. La precipitación en los meses de verano constituye del 6 al 14% del volumen anual (S.G.O.P., C.A.T. y E.N.A.D.I.M.S.A., 1.976).

En un anterior trabajo nuestro (Sastre Merlín, A., 1.975) calculábamos la precipitación media mensual y anual en el período 1.950-51 a 1.970-71 para el sector central y sur-occidental de la región de estudio, a partir de las observaciones realizadas en las estaciones n°365 (Talavera de La Reina), 358 (Santa Olalla) y 303 (Carpio de Tajo). Las precipitaciones mensuales y anuales medias resultantes en cada una de las estaciones mencionadas las reproducimos en la Tabla 6.1.; los valores medios de las tres estaciones se muestran en la Tabla 6.2.

#### 6.2.- EVAPOTRANSPIRACION

Como se sabe, son varios los métodos existentes para calcular la evapotranspiración (Elías, F. y Giménez, R., 1.965) : métodos basados en estudios de humedad del suelo; medidas directas con evaporímetros, lisímetros, etc.; métodos de calor efectivo o de grados día; métodos empíricos basados en correlaciones entre factores climáticos y datos de riego y precipitación; métodos de balance de energía y de difusión turbulenta de vapor, etc.

Recurriremos aquí a uno de los métodos mencionados de calor efectivo, el de Thornthwaite.

ESTACION	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	AÑO
TALAVERA	63,8	72,8	72,6	85,2	74,9	70,0	54,1	40,6	24,5	4,9	8,3	37,3	609,0
SANTA OLALLA	50,3	59,7	65,1	58,6	62,6	53,8	47,3	40,6	25,3	6,0	13,2	37,5	520
CARPIO DE TAJO	48,2	54,3	49,2	53,0	44,7	36,3	42,3	27,9	30,2	3,5	4,3	37,1	431

Tabla 6.1 - Precipitaciones medias anuales en tres estaciones pluviométricas emplazadas en el sector central y sur-occidental de la región de estudio.

O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	AÑO
54,10	62,2	62,3	65,6	60,7	53,4	47,9	36,4	26,7	4,8	8,6	37,3	520

Tabla 6.2 - Valores medios de las tres estaciones de la tabla 6.1

244

	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	AÑO
t° C	15,5	9,5	6,0	5,1	6,1	11,2	13,5	16,0	22,4	25,3	25,1	20,9	-
ETP (mm)	54,7	22,4	9,7	7,6	10,0	37,1	53,3	74,4	131,2	159,9	148,5	96,7	805,5

Tabla 6.3 - Datos de temperatura y evapotranspiración potencial correspondiente a la estación 365 (Talavera). (Elías, F. y Giménez, R., 1965).

## 245

6.2.1.- Evapotranspiración potencial (E.T.P.)

Puede definirse el término como la cantidad de agua que perderá una superficie completamente cubierta de vegetación en crecimiento activo si en todo momento existe en el suelo humedad suficiente para su uso máximo por las plantas; para su cálculo se emplea un índice de calor obtenido a partir de las temperaturas medias mensuales.

De acuerdo con ello, los datos de temperaturas y evapotranspiraciones potenciales mensuales medias de la estación n°365 (Talavera), para un período de 10 años (Elías, F. y Giménez, R., 1.965), son los de la Tabla 6.3.

Al aplicar este método no hay que olvidar que se estableció a partir de medidas realizadas en latitudes medias, con precipitaciones abundantes en verano. En estas regiones, la tensión del vapor de agua en el aire aumenta regularmente con la temperatura (Elías, F. y Giménez, R., 1.965). Por el contrario, en las regiones con precipitaciones invernales, la tensión del vapor de agua aumenta más lentamente al elevarse las temperaturas en primavera; esto hace que con el citado método se suelen obtener resultados sensiblemente por defecto bajo este último régimen de precipitaciones.

Coincide esto con los valores algo superiores que, en esta zona, resultan de la aplicación del método de Turc, basado en correlaciones entre factores climáticos y datos de riego y precipitaciones -alrededor de 1.000 mm.-, o del de Pennan -basado en balances de energía y difusión turbulenta de vapor-, también próximo a los 1.000 mm. (Elías, F. y Giménez, R., 1.965).



### 6.2.2.- Evapotranspiración real (ETR)

Dado que no en todos los meses del año hidráulico se puede evapotranspirar toda la cantidad de agua que indica el cálculo de la ETP, es preciso recurrir a la evapotranspiración real (ETR), para obtener qué proporción del agua de las precipitaciones pasa a la atmósfera realmente. Para ello hay que contar además de con la ETP, con la precipitación mensual, la reserva de agua del suelo, el tipo de vegetación y de suelo, etc.

Asignamos un valor de 100 mm. a la reserva de agua del suelo, valor que en principio parece razonable y que ha sido utilizado por otros autores que han trabajado en zonas aledañas (Rebollo, L.F., 1.977; Martínez Alfaro, P.E., 1.977; etc.).

En este trabajo, a partir de los datos de precipitación media de la tabla 6.2., se calcula la ETR (tabla 6.4.) utilizando los datos de ETP contenidos en la tabla 6.3., correspondientes a la estación de Talavera de La Reina. La evapotranspiración real obtenida es 402,6 mm.; solo debe considerarse a título orientativo: en ningún momento debe olvidarse la poca fiabilidad de ese resultado, calculado por métodos indirectos (Thornthwaite) y basado en los datos de una sola estación.

### 6.3.- ESCORRENTIA SUPERFICIAL

#### 6.3.1.- Características hidrológicas de la cuenca del Alberche.

La longitud del curso del Alberche desde su nacimiento hasta su desembocadura en el Tago es de 180 Km.; la longitud de su trazado sobre los materiales terciarios es de 73 Km. Su cuenca hidrográfica tiene una extensión

	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	ANO
ETP (mm)	54,7	22,4	9,7	7,6	10,0	37,1	53,3	74,4	131,2	159,9	148,5	96,7	805,5
P <sub>p</sub> (mm)	54,10	62,2	62,3	65,6	60,7	53,4	47,9	36,4	26,7	4,8	8,6	37,3	520
ETR (mm)	54,10	22,4	9,7	7,6	10,0	37,1	53,3	74,4	83,3	4,8	8,6	37,3	402,6
AR (mm)	0,0	+39,8	+52,6	+58,0	+50,7	+16,3	-5,4	-38,0	-56,6	0,0	0,0	0,0	
R (mm)	0,0	39,8	92,4	100,0	100,0	100,0	94,6	56,6	0,0	0,0	0,0	0,0	
Q (mm)	0,0	0,0	0,0	50,4	50,7	16,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	117,4
D (mm)	0,60	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	47,9	155,1	139,9	59,4	402,9

ETP anual media : 805,5 mm.

P anual media : 549,0 mm.

ETR anual media : 397,3 mm.

P-Q = 402,6

ETR = P-Q

ETR = 402,6

ETP-D = 402,6

ETR = ETP-D

ETR = 402,6

247

Tabla 6.4 - Cálculo de E.T.R según los datos de la estación n° 365 (Talavera de la Reina)

## 248

de 4.104 Km<sup>2</sup>; aproximadamente el 40% de esa superficie se labra sobre materiales terciarios -sobre todo- y cuaternarios (S.G.O.P., C.A.T. y E.N.A.D.I.M.S.A., 1.976).

El régimen hidrológico está profundamente alterado por varios embalses que utilizan el agua fundamentalmente para producir energía eléctrica -Burguillos, Charco del Cura, San Juan y Picadas- o para regadio -Cazalegas-. No obstante, del embalse de Picadas se deriva una conducción cuya finalidad es abastecer Madrid; dicha obra se conoce con las siglas A.M.S.O. (Abastecimiento de Madrid, Solución Oeste); el máximo caudal que admite es 3,7 m<sup>3</sup>/seg.

Asimismo, el Canal Bajo del Alberche, o de La Ventosilla, que parte de la presa de Cazalegas y cuya finalidad principal es el riego de la Vega de Talavera de La Reina, es utilizado también en los meses de verano para el abastecimiento de agua a esa ciudad : durante el día el canal cumple su original finalidad, pero durante la noche sus aguas son ya bombeadas al pequeño embalse de La Portiña -cuyo fin es el abastecimiento de la ciudad- ya derivadas a los depósitos de regulación de la red de distribución.

El río Perales, afluente del Alberche, tiene una longitud de 29 Km.; su cuenca, de 532 Km<sup>2</sup> de extensión, se emplaza, en un 40%, sobre el macizo cristalino y el 60% restante sobre los materiales terciarios de la Cuenca de Madrid (S.G.O.P., C.A.T. y E.N.A.D.I.M.S.A., 1.976).

### 6.3.2.- Características de la red de estaciones de aforo

En el río Alberche, solo las estaciones de aforo n°111 (Burguillo) y 112 (San Juan) alcanzan los 20 años de observaciones; la estación n°115 (Cazalegas) se aproxima a esa cifra sin alcanzarla. La estación n°113 (Picadas) empezó a funcionar en el año hidráulico 1.964-65, y la n°183 (Escalona) en el año 1.969-70 : el período de observación es, pues, corto.

En el río Perales se emplaza la estación n°198 (Villamantilla); su período de observación se inicia en el año hidráulico 1.968-69. La sensibilidad de la estación es pequeña en aguas bajas (S.G.O.P., C.A.T. y E.N.A.D.I.M.S.A., 1.976).

Consideraremos por tanto como estaciones básicas la n°112 (San Juan) y la n°115 (Cazalegas); la primera a modo de entrada, puesto que se halla emplazada en el macizo cristalino pero próxima al contacto con los materiales terciarios; la segunda lo es a modo de salida, puesto que está próxima a la confluencia Alberche-Tajo.

Una de las conclusiones a las que se llegan en M.O.P. - C.E.H. (1.971) es que el régimen natural del Alberche está profundamente alterado por el efecto regulador de los embalses que jalonan su curso; por ello en el citado estudio se hace una aproximación mediante la aplicación de la fórmula de Becerril a partir de datos de aforos y lluvias.

El criterio se mantiene en S.G.O.P., C.A.T. y E.N.A.D.I.M.S.A. (1.976); en este trabajo se hace una comparación entre los datos procedentes de M.O.P. - C.E.H.

(1.971), el Inventario de Recursos Hidráulicos (C.E.H., 1.971) y los datos procedentes de los anuarios de aforos (M.O.P. - D.G.O.H., 1.966 a 1.975) incrementados con los consumos, llegando a la conclusión de que el contraste es bastante satisfactorio.

#### 6.3.3.- Aportaciones y parámetros hidrológicos

Dado que las precipitaciones se analizaron para el período 1.940-1.963, se elige aquí ese mismo período de observación.

En la tabla 6.5. se muestran las aportaciones mensuales medias del período considerado en las dos estaciones de entrada (112) y salida (115); puede observarse como el Alberche presenta un estiaje muy acusado desde los meses de julio a octubre, durante los cuales transcurre solo el 4% de la escorrentía anual (S.G.O.P., C.A.T. y E.N.A.D.I.M.S.A., 1.976).

El coeficiente de escorrentía entre la estación 112 y la 115, para una aportación parcial media del período considerado de  $277 \text{ Hm}^3/\text{año}$ , resulta ser del 22%. Para el año seco -aportación parcial de  $54 \text{ Hm}^3/\text{año}$ - resulta el 8%; para el año medio -aportación parcial de  $181 \text{ Hm}^3/\text{año}$ - es del 15%; para el año húmedo -aportación parcial de  $494 \text{ Hm}^3/\text{año}$ - es el 29% (S.G.O.P., C.A.T. y E.N.A.D.I.M.S.A., 1.976).

El incremento de la superficie de la cuenca entre las estaciones 112 y 115 es de  $2.056 \text{ Km}^2$ ; bajo esa premisa, el caudal específico del año seco es de  $0,8 \text{ l/seg. Km}^2$ , de  $2,8 \text{ l/seg. Km}^2$  en el año medio y de  $7,6 \text{ l/seg. Km}^2$  en el año húmedo; para la media del período resulta ser de  $4,3 \text{ l/seg. Km}^2$ .

N° DE ESTACION	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
112	15,92	55,39	73,89	91,34	79,67	119,59	97,20	72,71	24,18	9,33	4,27	5,93
115	22,7	64,25	105,37	129,38	113,61	163,68	138,62	103,69	34,48	13,30	6,08	9,46

Tabla 6.5 - Aportaciones naturales mensuales medias (en  $\text{Hm}^3$ ). (Tomado de S.G.O.P., C.A.T Y E.N.A.D.I.M.S.A., 1976).

252

SEGUNDA PARTE

REGIMEN DE LAS  
AGUAS SUBTERRANEAS

CAPITULO 7

MODELO DEL FLUJO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS



## 7.- MODELO DEL FLUJO DE LAS AGUAS SUBTERRANEas

De acuerdo con Wallick, E. y Toth, J. (1.975), ningún problema relacionado con las aguas subterráneas puede resolverse satisfactoriamente sin el conocimiento de los límites de la región de flujo, la distribución de potenciales del fluido, la velocidad del movimiento y las áreas de recarga y descarga; una comprensión de la naturaleza del movimiento del agua subterránea en una cuenca de drenaje es un requisito previo de toda investigación hidrogeológica.

La primera parte de este capítulo es en realidad una continuación del capítulo 2 : se hace una breve revisión de los distintos modelos de flujo de las aguas subterráneas de la Cuenca de Madrid que se han ido proponiendo desde el primer tercio del siglo pasado. En la segunda parte se asume un modelo de flujo semejante al que ha sido adoptado en regiones próximas de esta misma cuenca por otros autores (Llamas, M.R. y López Vera, F., 1.975; López Vera, F., 1.975; Sastre Merlín, A., 1.975; 1.976 a y b; Martínez Alfaro, P.E., 1.977; Rebollo, L., 1.977; Villarroja, F., 1.977; López Camacho, B., 1.977) y exponiéndose sus propiedades principales.

### 7.1.- LOS MODELOS ANTIGUOS.

#### 7.1.1.- Tras las "fuentes ascendentes"

Se puede decir que es la exploración de las aguas subterráneas de la Cuenca de Madrid el principal estímulo que, durante la primera mitad del pasado siglo mueve el desarrollo del conocimiento de la geología de la región; solo el interés por encontrar yacimientos minerales económicamente explotables -que se traduce en

algunas descripciones de tipo mineralógico del terreno de los alrededores de la Corte, como el ya citado de Lugardo, B. y Belluga, B. (1.776)-le precede en el tiempo. Los primeros pozos perforados por procedimientos mecánicos se realizan en la década 1.820-30; los primeros cuya situación se conoce son los del Campo del Moro (Sánchez Lozano, R. y Álvarez Aravaca, M., 1.906) realizados en 1.829, el mismo año en que aparece la ya citada obra de Garnier traducida del francés por Bordiú, C.

La influencia de la escuela francesa en la elaboración de los primeros modelos de flujo del agua subterránea de la Cuenca de Madrid va a ser importante; ello es debido por un lado al impacto de la obra de Garnier; por otro, el exilio en la capital francesa de gran parte de los naturalistas que por esas fechas regresan, les ha dado la oportunidad de conocer con detalle la Cuenca de París : allí la polución de las aguas subterráneas poco profundas del casco urbano de la ciudad es (Diffre, Ph., 1.967) el principal motivo del éxito de los pozos perforados por procedimientos mecánicos desde los comienzos del siglo XIX, aunque el primer pozo de este tipo se ha construido en 1.750.

Bordiú, C. (1.830), ante la expectación que en la Corte ha despertado la construcción de " ... dos taladros que el zelo patrio de D. Rafael Garreta hace abrir a sus expensas en los extremos opuestos de esta capital, los cuales, si no correspondiesen a sus buenos deseos, podrían dar motivo a algunas personas para dudar de la utilidad de estas fuentes y de su aplicación en España ..." puesto que " ... el empresario no ha omitido gasto alguno para llevarla a cabo, haciendo venir de Francia máquinas costosas y fontaneros que las mane-

jan con destreza ...", hace -con una gran dosis de modestia- una excelente descripción geológica de los materiales terciarios de Madrid y sus alrededores para " ... averiguar si el terreno que se sondea actualmente contiene los requisitos necesarios para producir por este medio surtidores naturales, o a lo menos aguas que suban a una cierta altura ..."; descripción que " ... como por desgracia no se ha hecho hasta ahora, no es de extrañar ... que se camine casi a ciegas por los que no han examinado geognósticamente el valle del Tajo".

Trata a continuación el autor de encajar en su modelo geológico las condiciones de artesianismo que podríamos llamar clásicas y que han perdurado hasta Hubbert, M.K. (1.940) : tales son, volviendo al escrito de Bordiú " ... una capa impermeable sobrepuesta ... otra capa de igual naturaleza en la parte inferior; que la permeable tenga hendiduras o espacios que puedan contener las aguas, y en fin que esta capa descubra crestas en algunos parajes, por las cuales pueda entrar el líquido". Un sondeo practicado en los "acarreos", " ... no sería extraño que encuentre aguas a una cierta profundidad sin que por tanto deba esperarse su ascenso, porque provienen de las filtraciones de las lluvias que han caído en superficie de los acarreos ..., no están comprimidas por su parte superior y además tienen su curso directo hacia el Manzanares". Se concluye manifestando su desconfianza "del buen éxito de los taladros que se forman en la actualidad ... aunque el Sr. Garreta hará siempre un beneficio a la patria dando a conocer prácticamente el sondeo y a las ciencias".

La obsesión por las "aguas ascendentes", que en la Cuenca de Madrid perdurará hasta bien entrado el

siglo actual, se fundamentaba en el problema casi insolucionable que suponía la elevación del agua de un pozo de pequeño diámetro; no hay que olvidar que el perfeccionamiento de las bombas sumergidas no se produce hasta el período 1.910-1.930 (Davis, S.N. y De Wiest, R., 1.971), época en que la bomba de turbina desplaza a la de pistón, que, en el mejor de los casos, fue hasta ese momento el único procedimiento de elevar el agua.

Desde este punto de vista, todos los pozos que por esas fechas se construyen (Campo del Moro, Camino de Fuencarral, Plaza del Rey, calle de Espoz y Mina; ver Fig.2.6) resultan "negativos" por no ser surgentes, lo que parece confirmar la hipótesis de Bordiú. Dos precisiones deber ser hechas sin embargo :

- la primera es que, como ya se había deducido, el concepto de "pozo negativo" en aquellos momentos es muy distinto al actual : no quiere decir que, de poseer algún tipo de maquinaria de elevación adecuada no se hubieran obtenido caudales apreciables, sino simplemente que no eran surgentes.

- la segunda es que, como decíamos en el capítulo 2, el azar ha jugado su papel pues todos los pozos citados -salvo los del Campo del Moro- han sido construídos en zonas de interfluvio o de mitad de vertiente; si se hubieran construído en zonas fondo de valle es muy posible que gran parte de ellos hubieran sido surgentes, como ocurrirá más tarde con los sondeos de cimentación del puente de la Princesa y con los pozos de Talavera de La Reina y El Pardo.

7.1.2.- El modelo regional : la "cuenca artesiana de Madrid" de Casiano de Prado.

Como ya hemos dicho anteriormente, en 1.830 De gousée alcanza en Tours las arenas verdes albenses mediante un pozo de 140 mts. de profundidad. En 1.833 se inicia la construcción del pozo de Grenelle, en el casco urbano de París, cuya finalidad es atravesar las arenas albenses : con una profundidad de 548 mts., se finaliza en 1.841, aunque su condición de surgente es conocida desde antes; unos años después se inicia la construcción del pozo de Passy (1.855-1.866).

Estos hechos ejercen notable influencia en los hidrogeólogos y planificadores hidráulicos de la época (ver capítulo 2). Es particularmente acusada en Casiano de Prado; el enorme peso que la obra de este autor tiene en el conocimiento de la geología regional de la Cuenca de Madrid hace que una simple sugerencia suya, unida desde luego a una excelente descripción geológica, sea la base del modelo de la "cuenca artesiana de Madrid", vigente con pequeñas variaciones hasta casi la actualidad (Kindelán, J.A., 1.953) y recogido en Hernández Sampelayo, P. y Hernández Sampelayo, A. (1.934) (Ver Fig.2.4).

Al igual que Bordiú, C., y por las mismas razones que aquél, Prado desconfía de obtener aguas surgentes de pozos construídos en los materiales diluviales pues aunque "... entre las arenas suele haber también arcillas formando capas, es de advertir que estas se hallan siempre mal regladas, ni se continúan en mucha distancia sin interrupciones". No obstante, al comentar el fracaso del pozo del Sr. Matheu -abandonado a 195 mts. de profundidad sin aparecer la surgencia- comenta que "... el fin de las arcillas no podía estar tan lejos ..."; bajo

ellas " ... se hallarían rocas detríticas ... favorables para el objeto ..." : las arenas de Quijorna (ver apartado 3.3.2.) de la división inferior del Terciario. Después " ... pudiera presentarse el terreno cretáceo, en cuya base hay también areniscas".

He ahí la sugerencia que comentábamos, que se corrobora cuando más adelante comenta : " ... es preciso que se conozca el modo como se presentan las aguas artesianas en la provincia, y si existen o no ...", afirmaciones concordantes con la interrogante que el autor se plantea en la conclusión de su trabajo : "¿Qué espesor tiene ... el "diluvium", lo mismo que el terreno terciario?. La formación cretácea que ... se ve destrozada y como en jirones en lo descubierto, ¿ni es de presumir que en la parte oculta por los terrenos superiores se presente en la propia forma?".

En apoyo de la necesidad de esta investigación, Prado saca a colación el éxito de los pozos de Passy y Grenelle. Resulta curioso como también alude a los diversos usos del agua : "... pues no basta tenerlas para los usos domésticos y para regar las calles, sino que se necesitan también, y en cantidad mucho mayor para neutralizar la inmensa masa de inmundicias y desperdicios que resultan en una gran población"; un conjunto de pozos semejantes a los de París contruídos al N. de Madrid y cuyas aguas fueron vertidas al cauce del "pobrísimo Manzanares" contribuirían a disminuir la ya entonces existente contaminación : esta idea ha sido llevada a la práctica poco más de un siglo después, con la construcción de los pozos de los Viveros de la Villa (García Agustín, J., 1.974).

X X X X X

Las anteriores sugerencias de Prado son recogidas en los trabajos de Giménez Delgado, J. (1.865) y Guad y Fuentes, A. (1.865) y refrendadas por Vilanova (Fernández Navarro, L., 1.914). Por otro lado y haciendo caso omiso de las dudas de aquel autor en cuanto al espesor de los materiales terciarios, para Verneuil, Lyell, Botella y Cortázar (Kindelán, V., 1.928) estos no tendrían más de 500 metros.

Consecuencia de todo ello es que en la serie de trabajos hidrogeológicos sobre la Cuenca de Madrid que, con marcado carácter de recopilación e inventario realizan los ingenieros de Minas de la Comisión del Mapa Geológico, a raíz del Real Decreto de 15 de Julio de 1.905, aparece claramente afianzado el modelo regional de la cuenca artesiana de Madrid :

- El objetivo fundamental de todo "pozo estrecho perforado con aparatos de sondeo" (Bentabol, H., 1.906) debía de atravesar el más importante horizonte acuífero : las "arcosas del cretáceo" (facies Utrillas) (García, J. y Rubio, C., 1.906); no obstante en las calizas cretáceas también sería "... posible la existencia de un horizonte acuífero, dada la estructura cavernosa de las dichas calizas" (Adán de Yarza, R., 1.906); para llegar a las primeras desde la "división media del terciario" (ver capítulo 2) " ... habría que taladrar 260 metros y 50 metros menos para atravesar las calizas cretáceas" (Adán de Yarza, R., 1.906).

- No obstante también deberían obtenerse aguas artesianas " ... en ciertas capas permeables pertenecientes a la división terciaria inferior ..." (Sánchez, R. y Alvarez, M., 1.906) representada en nuestra zona de tesis por las arenas de Quijorna (ver apartado 3.3.2.); " ... si para la perforación de pozos se eligieran las zonas faltas de las calizas del tramo superior, el espesor

por atravesar para llegar al horizonte inferior solo sería de 80 metros, desde donde tal vez surgiese el agua" (Adán de Yarza, R., 1.906).

Así pues en el modelo adoptado por estos autores los "horizontes acuíferos" comentados serían susceptibles de recibir recarga a partir de las precipitaciones "en las partes altas de la cuenca", allí donde afloraban en contacto con el macizo cristalino del Sistema Central.

X X X X X

Frente al optimismo desmesurado del momento, ya algún autor se mostró reticente; así Adán de Yarza, R., (1.906) comenta que "una circunstancia desfavorable, si no para la existencia, para el caudal de aguas artesianas ... parece deducirse del reducido espacio que ocupan los asomos de las rocas permeables, tanto terciarias como cretáceas, en los bordes de la cuenca ...".

Las posibilidades del acuífero construido por las calizas de los páramos son anticipadas por Sánchez, R. y Alvarez, M. (1.906) como se deduce al comentar los citados autores que " ... en el terreno terciario, el horizonte acuífero que ofrece mayor interés corresponde principalmente, al contacto de las calizas de la base de la división superior, con las arcillas y yesos de la división media".

#### 7.1.3.- Los canales de infiltración de Bentabol.

El acuífero instalado sobre los materiales "diluviiales" (los materiales terciarios de facies detrítica) es generalmente menospreciado; una excepción supone



el trabajo de Bentabol, H. (1.906); cabría comentar que también supone una excepción el que en dicho trabajo no se mencione ni una sola vez el modelo de la cuenca artesiana.

La galería de captación construída bajo la dirección del ingeniero Montenegro en La Cepilla (Quijorna) (ver apartado 4.2.5.) y otros alumbramientos semejantes citados por aquel autor le llevan a la conclusión "... que los alumbramientos de aguas pueden ser de gran importancia en el terreno cuaternario de la provincia de Madrid ..."; "la creencia de que aquellas que no son de pié o no proceden de escasa profundidad resultan económicamente inaprovechables ...", sería una de las causas por la que esos alumbramientos no han sido emprendidos, "... creencia que tiene su origen en la falta de instrucción, de espíritu de empresa y de recursos pecuniarios de la mayor parte de los habitantes del país, que no conciben más motores elevadores posibles para el agua que las norias movidas por caballerías" (Bentabol, H., 1.906).

Habiendo recorrido el sector occidental de la provincia de Madrid, Bentabol supone que el agua subterránea contenida en los materiales "diluviales" tiene una doble procedencia : la que captan los pozos emplazados en el interfluvio Guadarrama-Manzanares y los pozos "profundos" -"aquellos que pasasen de los 15 ó 20 metros por bajo del nivel de los barrancos más próximos"- del resto de la zona recorrida se habría infiltrado "en el borde inferior de las vertientes de la Sierra por la línea del contacto con el cuaternario"; las captadas por los restantes pozos procederían de las "lluvias locales". Sin embargo, para explicar el relieve de la línea de saturación el autor recurre a una artificiosa explicación : "... los afloramientos de aquellas capas acuíferas en los

valles y barrancos próximos están cubiertos por materiales plásticos, impermeables, con suficiente espesor para impedir el desague inmediato"; este hecho demuestra, a nuestro parecer, que la ley de Darcy, descubierta medio siglo antes y utilizada por el mismo autor en un anterior trabajo suyo (Bentabol, H., 1.898) no ha sido asimilada.

Bajo esta óptica se comprende plenamente la su gerencia de los "canales de infiltración (ver Fig.2.5) para aumentar el volumen de recursos hidráulicos subterráneos; recursos que podrían explotarse " ... tanto por medio de galerías, ... como por medio de pozos ordinarios, ... y también por medio de pozos estrechos ... provistos de bombas colgantes desde la superficie ..." (Bentabol, H., 1.906).

7.1.4.- Los "tubos de arena". Las "aguas pseudo-artesianas y freático-artesianas" de Fernández Navarro.

Adán de Yarza, R. (1.906) cita el carácter sur gente ("artésiano") de algunos pozos emplazados en los materiales "diluviáles" de la cuenca terciaria del Duero -posiblemente en Valladolid, de acuerdo con Fernández Navarro, L. (1.914)-. En la Cuenca de Madrid, dado que casi todas las perforaciones se han realizado lejos del fondo del valle, el fenómeno será conocido un poco después, con la perforación de los pozos de Talavera de La Reina, sondeos del Puente de La Princesa (Madrid), pozos de El Pardo y accidentalmente en algún pozo más al reali<sup>z</sup>zar alguna maniobra durante la construcción (Fernández Navarro, L., 1.909) (ver Fig.2.6).

La primera hipótesis que se desarrolla para ex plicar el fenómeno es la "teoría de los tubos o canales

de arena", como recientemente ha denominado a ese conjunto de ideas López Camacho, B. (1.977). Los materiales "diluviales" "... tienden a formar capas que en la proximidad de la Sierra se inclinan ligeramente hacia el S. y que a medida que de aquella se separan se acercan a la posición horizontal, al mismo tiempo que disminuye el volumen de los elementos componentes y aumentan los lechos arcillosos" (Adán de Yarza, R., 1.906); de lo expuesto "... deducimos una consecuencia, en nuestro concepto importantísima, y es la existencia casi constante de zonas sabulosas entre, o por cima de las capas de arcillas, es decir de rocas permeables sostenidas por otras impermeables, con afloramientos en el terreno a altitudes superiores a la media de la capital" (García, J. y Rubio, C., 1.906).

Esta hipótesis es semejante a la de la cuenca artesiana : la recarga se infravaloraba, pues solo podía tener lugar en la superficie resultante de la intersección de cada una de las capas permeables con la superficie topográfica; por negarles la salida se concluía que las aguas contenidas en dichos tubos eran fósiles (López Camacho, B., 1.977).

X X X X X

Con el descubrimiento del "artesianismo" en pozos emplazados en los materiales "diluviales" de la Cuenca de Madrid, es dada una nueva explicación al fenómeno, de la que es autor Fernández Navarro :

- Para el citado autor, el nivel freático puede llegar a adoptar una disposición tal " ... que sus aguas pueden surgir también en forma de surtidor" : serían las aguas freático-artesianas". Tal es la situación representada

en la Fig.7.1. (Fernández Navarro, L., 1.909) : A B representa una masa arcillosa lenticular; " ... una perforación en el punto P daría lugar al ascenso del agua sobre el nivel del suelo" (Fernández Navarro, L., 1.909). De esta forma se explica el autor el carácter surgente de dos de los tres primeros pozos que se construyen en esos momentos en El Pardo, junto al río Manzanares.

- No obstante " ... las aguas sub-álveas pueden elevarse como si fueran artesianas, cuando en una extensión del cauce, suficientemente grande, están separadas del agua superficial por un lecho impermeable"; el resultado serían las "aguas pseudo-artesianas". Aunque la situación

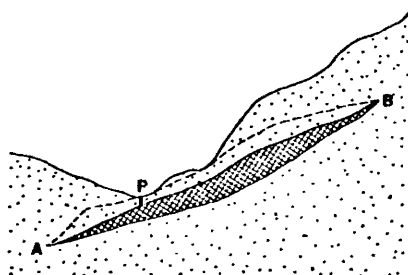


Fig.7.1.: Aguas freático-artesianas (según Fernández Navarro, L., 1.909 y 1.914).

resulta un poco difícil de imaginar, así explica el mencionado autor la surgencia, aunque con pequeño caudal, de los pozos de Talavera de La Reina a orilla del Tajo y de los sondeos para la cimentación del puente de La Princesa (Madrid), a orilla del Manzanares.

#### 7.1.5.- Evolución de las ideas antiguas

El efecto de los pozos de El Pardo, " ... que si no, muy importantes por su caudal, son excelente elemen

to de propaganda por su situación ..." (Fernández Navarro, L., 1.914), no se hace esperar : la promulgación del Real Decreto de 28 de Junio de 1.910 por el que el Estado subvenciona las investigaciones para el alumbramiento de aguas subterráneas aumenta el interés por ellas. En este ambiente favorable no es de extrañar que perdure un optimismo desmesurado acerca de la explotación de las aguas "artesianas" de la Cuenca de Madrid.

En ese sentido los pozos de El Pardo son solo un catalizador y no un ejemplo a imitar, como ya antes comentamos. Las hipótesis de los dos epígrafes anteriores no modifican el modelo de la cuenca artesisiana; así el mismo Fernández Navarro, L. (1.908) defiende la "casi segura existencia de dos considerables niveles de aguas artesianas" en los materiales "terciarios" a unos 200 y 400 metros, "más rico el segundo que el primero" : se refería el autor, en primer lugar, a la división inferior -arenosa- del Mioceno y después a las arenas y areniscas de la base del Eoceno, que el citado autor, recogiendo otra hipótesis de Prado suponía existente entre el Mioceno y las calizas cretácicas; además, " ... por debajo de la cuenca terciaria y paralela a ella, se desarrolla otra secundaria, también apta para el artesianismo" (Fernández Navarro, L., 1.914).

Ideas semejantes son expuestas por Pérez Cossío, L. (1.913); referencias de otros autores en ese mismo sentido se recogen en Kindelán, V. (1.928). El incremento del número de perforaciones que se realizan trae dos consecuencias inmediatas : un mejor conocimiento de los materiales "terciarios" y "diluviales" de la Cuenca de Madrid y el fin del optimismo en cuanto a la explotación de la cuenca artesisiana.

En este orden de cosas Fernández Navarro, L. (1.909) llega a comentar que "... la potencia de la formación diluvial ... es desde el principio muy considerable ..."; para llegar a la "división inferior" del Mioceno ya son precisos unos 200 metros de perforación -en lugar de los 80 sugeridos por Adán de Yarza- y 400 para los supuestos materiales detríticos eocenos; "... las arcosas del cretáceo ... no precisan menos de 450 metros de sondeo ..." (Pérez Cossío, L., 1.913). Alcanzar esas profundidades en los depósitos no consolidados de la Cuenca de Madrid con los "aparatos de sondeo" de la época, no era tarea fácil; los continuos fracasos acaban con el optimismo reinante, pero el modelo de la cuenca artesiana sigue vigente.

X X X X X

Llevando a la práctica una vieja sugerencia de Prado encaminada a demostrar de una forma concluyente la existencia o no de aguas "artesianas" -" ... hay que hacer llegar la sonda hasta la base del terreno cretáceo ..."-, en el mes de julio de 1.926, por orden del Ministro de Fomento (Kindelán, V., 1.928), se inician las gestiones para la realización de un sondeo profundo que llegue al zócalo de la cuenca sedimentaria.

Los resultados de ese sondeo son de todos conocidos y aquí ya han sido comentados (ver capítulo 2) : se demuestra la inexistencia de la "división inferior" miocena y el carácter detrítico basal del posible Eoceno queda en entredicho; además a la profundidad de 1.000 metros, en la que el sondeo se interrumpió definitivamente, aún no se había llegado al Cretácico : este último detalle fue suficiente para que la cuenca artesiana perdure hasta casi la actualidad.

El modelo de "funcionamiento de las aguas subterráneas" de Kindelán, J.A. (1.953) considera que el área de infiltración no sería solo la superficie de afloramiento de las facies marginales del Mesozoico y Oligoceno, sino también los mismos granitos. La idea ya había sido apuntada por Fernández Navarro, L. (1.914) : "... el granito normal que es impermeable, se hace medianamente permeable cuando está fracturado, y muy permeable cuando pasa al estado de arkosa o de arenas ...".

Aunque en el modelo de "funcionamiento hidrogeológico" de San José, M.A. (1.971) se sigue manteniendo que la "recarga principal procede del macizo granítico" ya empieza hablarse de "alimentación directa" y de "un único acuífero instalado sobre materiales detríticos de origen fanglomerático".

X X X X X

Una investigación realizada en el área Valdemorillo-Quijorna ya hace algunos años podría ser un ejemplo de como ha sido llevada a la práctica la errónea creencia de suponer la existencia de flujo de agua subterránea entre la unidad granítica y las unidades de la cobertera.

Como ya hemos comentado, es conocida desde antaño la existencia de un manantial de "aguas radiactivas" en las cercanías de Valdemorillo, dentro del dominio granítico (Muñoz del Castillo, 1.908 a y b). Muy probablemente la realización de los sondeos de reconocimiento 558-2-4, 558-2-5 y 558-2-6 (ver plano 9.2), emplazados sobre los "materiales terciarios antiguos", estaría encaminada a investigar el posible reflejo de la anomalía positiva vecina en las aguas subterráneas profundas de la unidad terciaria, dada la probable procedencia de aquéllas -al

menos en parte- del macizo granítico a través del cual se infiltraron. Desgraciadamente esta opinión nuestra no hemos podido comprobarla totalmente.

#### 7.2.- EL MODELO ACTUAL.

El modelo que actualmente se propone para el flujo de las aguas subterráneas en la Cuenca de Madrid se apoya en dos suposiciones básicas : continuidad hidráulica regional y existencia de límites de flujo (Walllick, E.I. y Toth, J., 1.975). El medio físico por donde el agua subterránea circula se dice que posee "continuidad hidráulica regional" si una variación en el potencial del fluido puede propagarse de un punto a otro del interior de la región considerada (Toth, J., 1.972).

Como se sabe la ley de Darcy relaciona el movimiento del agua subterránea con el campo de fuerzas que lo gobiernan, a través de la relación :

$$V_x = K \frac{\partial \phi}{\partial x}$$
 donde  $V_x$  es la velocidad en la dirección  $x$ ,  $K$  el coeficiente de permeabilidad y  $\phi$  el potencial hidráulico.

Hubbert, M.K. (1.940) mostró como el potencial hidráulico en cualquier punto de un campo gravitatorio puede expresarse mediante la ecuación :

$$\phi = g \cdot z + \frac{P - P_0}{\rho}$$
 donde  $g$  es la aceleración de la gravedad,  $z$  la altura de un punto  $P$  sobre un nivel de referencia,  $p$  la presión en dicho punto  $P$ ,  $p_0$  la presión atmosférica y  $\rho$  la densidad del agua.



Por otro lado la ecuación de la continuidad para el flujo de un fluido incomprensible en régimen permanente es :

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0, \text{ que combinada con la}$$

ley de Darcy resulta de las dos formas siguientes para un medio homogéneo y heterogéneo, respectivamente :

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \text{ (ecuación de Laplace)}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ K(x,y,z) \frac{\partial \phi}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ K(x,y,z) \frac{\partial \phi}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ K(x,y,z) \frac{\partial \phi}{\partial z} \right] = 0$$

(ecuación de Richard).

La resolución de estas dos ecuaciones solo es posible estableciendo condiciones en los límites. Toth, J. (1.962 y 1.963) fue el primero en formular las condiciones en los límites para un modelo simple bidimensional de una cuenca de drenaje; sus principales características se muestran en la Fig.7.2.

-  $\frac{\partial \phi}{\partial x} = 0$  en la divisoria de aguas y en el fondo del valle; en esas mismas posiciones  $\frac{\partial \phi}{\partial z}$  es positivo y negativo, respectivamente;  $\frac{\partial \phi}{\partial z} = 0$  en el límite imper-

271

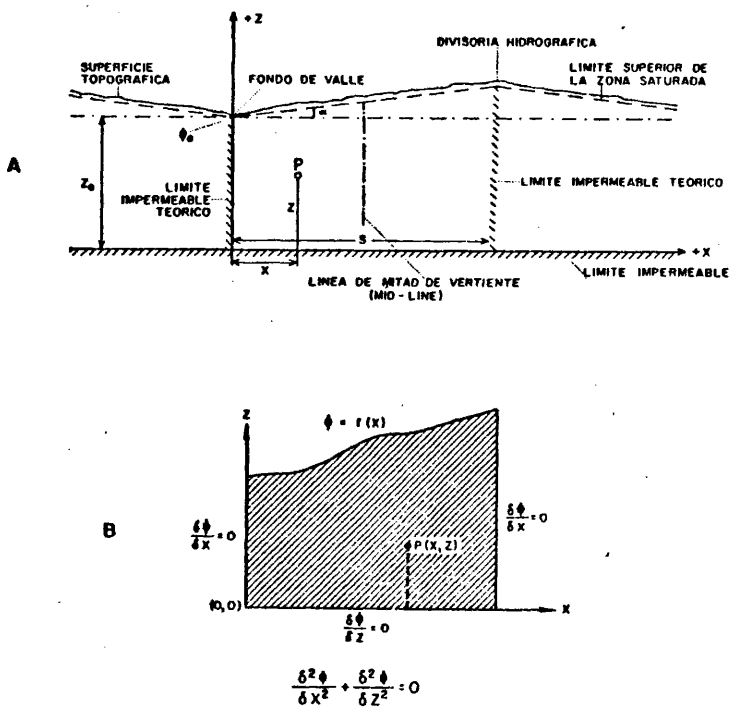


Fig.7.2.: A : Modelo conceptual de una cuenca de drenaje, con sus límites reales y teóricos y regionales de flujo (tomado de Toth, J., 1.962) B : Modelo físico y matemático (tomado de Freeze, R.A., 1.969 y reproducido por Wallick, E.I. y Toth, J., 1.972).

meable que supone el fondo de la cuenca de drenaje y en la línea de mitad de vertiente ("mid-line").

-  $\frac{\partial \phi}{\partial x} = 0$ , lo que significa que no hay flujo fuera del plano del dibujo.

-  $\phi = f(x)$ ; la posición de la línea de saturación -"water-table" de los autores anglosajones- es una función simple de la distancia.

X X X X X

La figura 7.3. muestra uno de los resultados obtenidos por Toth; de acuerdo con ella y con lo anteriormente comentado, puede anticiparse el siguiente comportamiento y manifestaciones del régimen de las aguas subterráneas en nuestra zona de trabajo :

altura en pies sobre el nivel de referencia

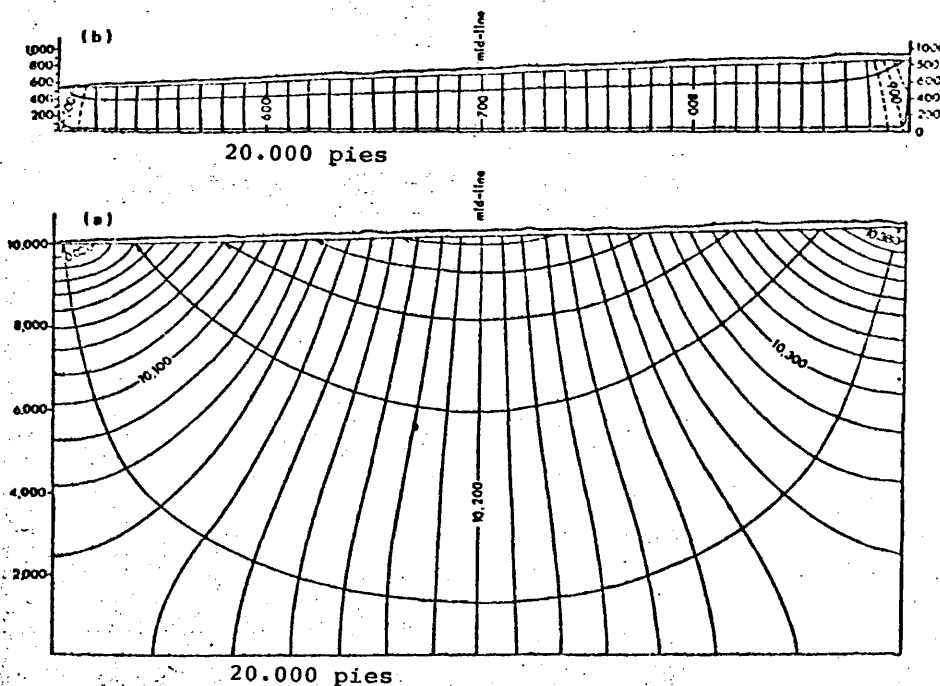


Fig.7.3.: Distribuciones teóricas de potencial y modelos de flujo para diferentes profundidades del límite impermeable inferior (tomado de Toth, J., 1.962).

- La superficie de la cuenca del Alberche puede considerarse integrada por tres tipos de áreas distintas desde el punto de vista hidráulico : de recarga, desplazamien-

to lateral y descarga, que coinciden respectivamente con regiones de flujo de agua subterránea descendente, horizontal y ascendente.

- En consecuencia con lo anterior el nivel del agua en los pozos desciende, permanece constante y asciende según aumenta la profundidad de aquellos en áreas de recarga, flujo lateral y descarga, respectivamente (Fig. 7.4.).

- El carácter surgente de los pozos no indica ni lleva aparejado una alternancia de capas permeables e impermeables estratificadas.

- La zona no saturada es más potente en el tramo comprendido entre la divisoria y el punto de inflexión a mitad de vertiente, que entre este y el fondo del valle (Fig. 7.4). Las fluctuaciones estacionales del nivel del agua serán más acusadas en las áreas de recarga que en las de descarga.

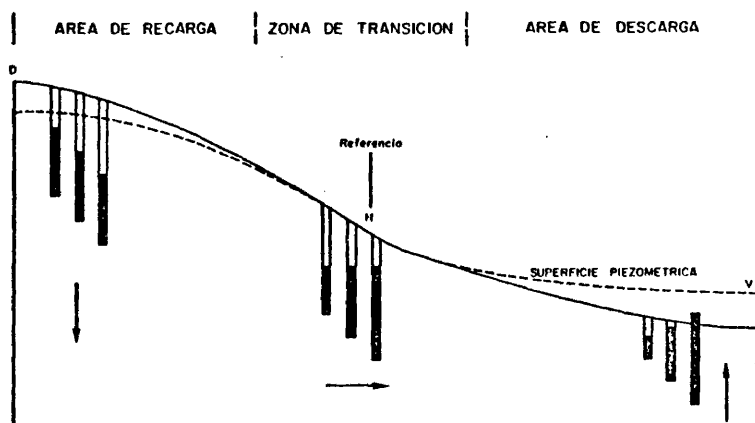


Fig.7.4.: Variación del nivel del agua con la profundidad del pozo en áreas de recarga, flujo lateral y descarga del agua subterránea (tomado de Wallick, E.I. y Toth, J., 1.975).

- Las cantidades de humedad disponible en las áreas de infiltración y descarga serán sensiblemente diferentes. En áreas de recarga habrá que esperar un déficit de humedad del suelo, si se compara con la región de transición ("mid-line"), lo que se traduce en el aspecto seco que ofrece el terreno, depresiones secas y suelos bien drenados. En áreas de descarga del agua subterránea, esta se suma a las precipitaciones locales, lo que conlleva un exceso de humedad con respecto a la zona media : a la existencia de pozos surgentes habrá que añadir la presencia de manantiales y zonas de rezume, depresiones húmedas, presencia de freatofitas, etc.

- El contenido del agua subterránea en sólidos disueltos aumenta con el tiempo de permanencia de ésta en el terreno, es decir, aumenta a lo largo y en la dirección de las líneas de corriente. Podrá esperarse que el contenido mineral, expresado como total de sólidos disueltos, residuo seco o conductividad eléctrica del agua, sea bajo en zonas superficiales de áreas de recarga, y en sistemas de flujo de corto recorrido; por el contrario, a profundidades grandes, y en áreas de descarga de sistemas de flujo de recorrido largo habrá que esperar que el contenido mineral en disolución sea alto.

- La distribución de flujo originará la cantidad y tipo de mineralización del agua subterránea ya que aquélla puede variar rápidamente en una distancia pequeña tanto vertical como horizontal. Aparecerán marcadas diferencias, por ejemplo, allí donde un pozo o conjunto de pozos reciba un flujo de corto recorrido, frente a otro conjunto de pozos próximo al anterior que sea receptor de otro flujo de recorrido más largo.

- Dado que nuestra región de trabajo puede considerarse como una cuenca de drenaje compuesta, podría existir varias áreas de recarga y descarga de agua subterránea en

## 275

orden alternante; así se verá como aparecen características típicas de zonas de recarga originadas por un flujo local descendente en áreas de descarga global.

- De acuerdo con Wallick, E. y Toth, J. (1.975), puede definirse el concepto de "sistema de flujo" como "un conjunto de líneas de flujo en el que dos líneas cualesquiera permanecen adyacentes a lo largo de la región de flujo y que puede ser intersectado en cualquier parte por una superficie ininterrumpida a través de la cuál el flujo tiene lugar en una dimensión únicamente".

- Al coincidir varios sistemas de flujo puede producirse una interferencia efectiva entre los vectores de flujo, la cuál es causante de la aparición de zonas de estancamiento de agua subterránea; dichas zonas contendrán agua muy mineralizada debido al largo tiempo de residencía en contacto con el terreno.

- Las heterogeneidades del medio pueden producir también inversiones locales del carácter hidráulico.

X X X X X

El modelo conceptual expuesto fué sugerido por primera vez en S.G.O.P., C.A.T. e I.N.T.E.C.S.A. (1.973) y por Llamas, M.R. y López Vera, F. (1.975); tal modelo consigue explicar con entera satisfacción, entre otras cosas, las grandes diferencias del nivel del agua entre pozos próximos con distinta profundidad, circunstancia que ya fue observada por Fernández Navarro, L. (1.909) y que le llevó a decir que "... no se trata sin duda de una zona artesiana de profundidad determinada, sino de varios depósitos sin conexión entre sí". Con este modelo conceptual se justifica fácilmente el carácter surgente de algunos de los pozos emplazados en los materia-

les terciarios de esta región.

Con posterioridad ha sido aceptado en la prác  
tica totalidad de las investigaciones y trabajos hidro-  
geológicos de la Cuenca de Madrid : López Vera, F.  
(1.975), S.G.O.P., C.A.T. y E.N.A.D.I.M.S.A. (1.976),  
Octavio de Toledo, F. (1.976), Martínez, P.E. (1.977),  
Rebollo, L.F. (1.977), Villarroja, F.I. (1.977) y López  
Camacho, B. (1.977) entre otros.

CAPITULO 8

DISTRIBUCION DE POTENCIAL HIDRAULICO

DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS



#### 8.- DISTRIBUCION DE POTENCIAL HIDRAULICO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Un método empírico para estimar el modelo de flujo de las aguas subterráneas en un determinado acuífero es el análisis de la distribución del potencial hidráulico de aquéllas, es decir del nivel del agua en los pozos y sondeos medido directamente en el campo. La observación de la malla de flujo obtenida empíricamente suele ser suficiente para adoptar un modelo de flujo (Wallick, E.I. y Toth, J., 1.975).

La obtención de modelos de flujo de aguas subterráneas a partir exclusivamente de la distribución del potencial hidráulico obtenido en el campo está suficientemente documentada en la bibliografía; pueden verse al efecto, entre otros, los trabajos de Plukowsky, E.J. y Kantrowitz, I.H. (1.964); Meyboon, P., Van Everdingen, R.O. y Freeze, R.A. (1.966); Toth, J. (1.966 a); Erdely, M. (1.972) y Cherry, J.A., Grisak, G.E. y Clister, W.E. (1.973).

Para Wallick, E.I. y Toth, J. (1.975) los principales inconvenientes de este método son el coste económico y el tiempo requerido para disponer de las necesarias medidas de niveles, inconvenientes que hacen que resulte prohibitivo en buen número de ocasiones.

##### 8.1.- CONSIDERACIONES PREVIAS

La primera consideración que es obligada hacer es la de que en este trabajo es la primera vez que se ha intentado obtener el modelo de flujo de las aguas subterráneas de un sector de la Cuenca de Madrid por métodos

empíricos, es decir, a partir del nivel de agua en los pozos y sondeos directamente medido en el campo (Anejo I).

Como puede apreciarse en el Inventario de puntos de agua (Anejo I), los niveles han sido medidos en fechas diversas; realmente han sido medidos según íbamos conociendo la existencia de nuevos pozos, es decir, conforme progresaba la laboriosa realización de dicho Inventario de pozos, sondeos y manantiales. Consecuencia de ello es que, aún representando siempre el nivel medido el estático del agua en el pozo, no se ha tenido en cuenta su posible variación estacional; si dicho nivel se ha medido durante el período anual de descarga -la época de riegos- la variación respecto al nivel del resto del año puede ser en algún lugar apreciable, como veremos en otro apartado de este capítulo.

Otras veces el único nivel de agua conocido es el que había en el pozo cuando éste se construyó e instaló la bomba. Si el pozo es de una cierta antigüedad -por ejemplo más de cinco años- el dato de nivel de agua conocido puede ser distinto del que posee en la actualidad y que hay que tener precaución al compararlo con el de otros pozos próximos de construcción más reciente. El efecto puede ser notable a la hora de construir la malla de flujo en las zonas donde el bombeo de agua subterránea es importante y es conocido un descenso sistemático del nivel de agua en los pozos -por ejemplo la región de Torrijos-.

Una condición necesaria para la construcción de estas mallas de flujo es el conocimiento -al menos aproximado- de la posición de la línea de saturación, expresión que de acuerdo con López Camacho, B. (1.977),

hacemos semejante a la de "water-table" de los autores anglosajones. Dos causas contribuyen a la indeterminación de dicha posición : unas veces la falta de datos, la inexistencia de puntos de agua en determinadas áreas; otras, las más de las veces, el nivel medido en los pozos no representa la situación de la línea de saturación sino el nivel de potencial hidráulico en el tramo del acuífero donde el pozo está ranurado : solo los pozos que "laman" la zona saturada, que apenas penetran en ella, y aquellos otros que se encuentren en la "zona de transición" ("mid-line"), independientemente de la profundidad, (Fig.7.4.), su nivel podrá asimilarse a la situación de la línea de saturación. Podríamos decir que la primera causa de indeterminación es accidental y la segunda sistemática.

Siguiendo en esta línea diremos que pocas veces el nivel del agua medido representa el potencial en un punto o corto tramo del acuífero, dado que igualmente pocas veces el pozo donde tal medición ha sido realizada puede considerarse un piezómetro "perfecto". Dichos pozos son naturalmente de explotación y están ranurados frente a todos los tramos más o menos arenosos donde el constructor suponía que existirían los mejores valores de transmisividad; otras veces están ranurados en toda su longitud. El resultado es que el nivel final es un nivel medio entre el de todas las líneas equipotenciales cortadas por el pozo en cuestión. Al igual que antes, hay que exceptuar a los pozos situados en zonas de transición.

Otra precisión abligatoria es que la cota sobre el nivel del mar de los pozos y sondeos se ha obtenido mediante interpolación a partir de la situación previa del pozo en el mapa topográfico. Aunque la calidad de los mapas utilizados es alta, ello posiblemente no habrá podi

do evitar que haya sido cometido un cierto error en la nivelación de los puntos de agua.

Como ya hemos comentado en el capítulo 4, el acuífero debe considerarse como un medio fundamentalmente anisótropo. En estas condiciones la malla de flujo (equipotenciales y líneas de corriente) no puede considerarse integrada por cuadrados curvilíneos; los cuadrados deben deformarse en relación con el grado o razón de anisotropía (López Camacho, B., 1.977). No obstante nuestros perfiles hidrogeológicos -donde se representa la malla de flujo, planos 5.1 a 5.9- han sido contruídos con una escala vertical de 1:5.000 frente a una horizontal variable según el perfil, de 1:25.000 o 1:50.000; es decir, la escala vertical ha sido exagerada cinco veces en el primer caso y diez en el segundo. Esto equivale pues a dibujar una malla ortogonal considerando en el primero de los casos una anisotropía  $K_h/K_v = 25$  y en el segundo  $K_h/K_v = 100$ , valores de anisotropía un tanto bajos para este acuífero -sobre todo el primero-, pero en principio aceptables.

Una de las condiciones del modelo es que  $\partial\phi/\partial y = 0$  (ver capítulo 7), es decir, no hay flujo de agua subterránea fuera de las dos dimensiones de cada uno de los perfiles hidrogeológicos que se comentarán más adelante. No obstante ello no es absolutamente cierto en el área de confluencia Alberche-Tajo, el punto de menor potencial de toda la zona; se produce allí un flujo tridimensional cuya representación es difícil en solo dos dimensiones, flujo que además coincide con la aparición de ciertos fenómenos hidrogeológicos que se comentarán en su momento.

Vistas todas estas consideraciones previas, podemos pasar a comentar las distribuciones de potencial obtenidas en los nueve perfiles hidrogeológicos que pre-

sentamos (planos 5.1. a 5.9.).

#### 8.2. PERFIL SEVILLA LA NUEVA - RIO PERALES (Plano 5.1.).

Adopta este perfil una dirección aproximadamente perpendicular al curso del río Perales y al interfluvio Alberche-Guadarrama. Como la escala vertical se ha exagerado cinco veces, la razón de anisotropía  $K_h/K_v$  considerada es 25.

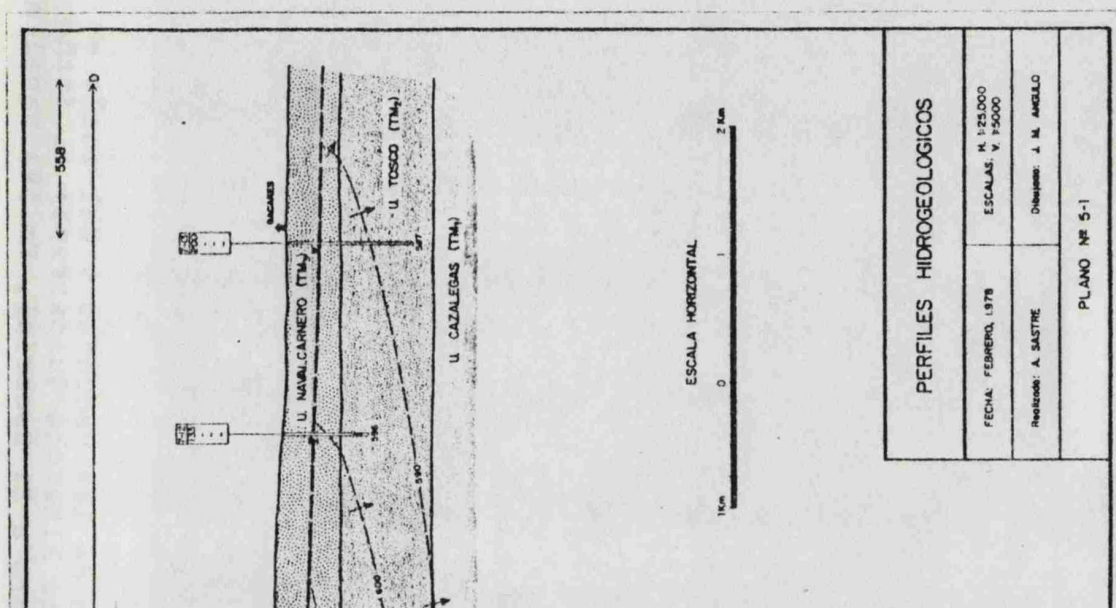
Puede observarse el flujo descendente del agua subterránea bajo la citada divisoria de aguas superficiales. Concordante con el déficit de humedad del suelo, característico en las áreas de recarga, puede observarse en la Fig.8.1. A y B el aspecto seco que este ofrece, así como el de las vaguadas; las fotografías corresponden al interfluvio en las cercanías de Sevilla La Nueva.

Otro efecto que llama la atención en esta área de recarga es la no coincidencia exacta de la divisoria de aguas superficiales y subterránea. La mayor pendiente de la línea de saturación hacia la cuenca del Perales, que hacia el cuenca del río Guadarrama, a su vez condicionada por una mayor pendiente topográfica hacia aquél thalweg, produce el efecto de "capturar" algunas líneas de corriente que en principio se orientaban hacia el Guadarrama, con lo que la divisoria de aguas subterráneas tiende a desplazarse, aunque solo ligeramente, hacia la cuenca de este último río.

A poca distancia del interfluvio empiezan a tener importancia las componentes horizontales del flujo. Dado el enorme espesor de materiales terciarios -de 2000 a 2500 metros- no parece observarse ningún efecto del zó-

283





# PERFILES HIDROGEOLÓGICOS

FECHA: FEBRERO 1978

ESCALAS: M. 1:25,000  
V. 1:5000

Rediseño: A. SASTRE

Dibujante: J. M. ANGELLO

PLANO Nº 5-1





A



B

Fig. 8.1. A y B. Aspecto seco de las vaguadas y del suelo en áreas de recarga de agua subterránea. Interfluvio Alberche-Guadarrama; al fondo (A) Sevilla La Nueva. Cra. C-600 de Navalcarnero a El Escorial, Km. 58; Navalcarnero (Madrid).

calo; esta región corresponde a la subfosa de Brunete de Cadavid, S. (1.977) (ver perfil I-I' del plano n°2).

La "zona de transición" ("mid-line"), en la que el flujo es perfectamente horizontal, se sitúa a ambos lados de la equipotencial de 550 m. A partir de esta zona ya empiezan a aparecer de nuevo componentes verticales de flujo, pero esta vez ascendentes, que se acentúan conforme progresamos hacia el thalweg del Perales. No llegan a observarse, junto a éste, pozos surgentes.

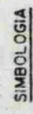
De la margen derecha del Perales poco hay que decir salvo la muy probable existencia de zonas de estancamiento de aguas subterráneas junto al plano de contacto de los materiales terciarios con los cristalinos del macizo septentrional, tal y como hemos representado en el plano que hemos comentado.

### 8.3.- PERFIL EL ALAMO - ARROYO GRANDE - RIO PERALES (Plano 5.2).

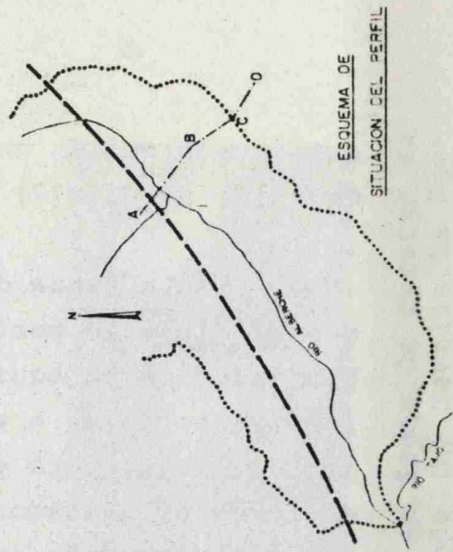
Al igual que en el caso anterior, hemos dado a este perfil una dirección perpendicular al curso del río Perales -poco antes de su desembocadura en el Alberche- y al interfluvio Alberche-Guadarrama. De nuevo la razón de anisotropía considerada  $K_h/K_v$  es 25.

Puede también observarse el flujo descendente de agua subterránea en la zona de interfluvio, en donde al igual que en el caso anterior, en el paisaje se siguen observando indicios de déficit de humedad (Fig.8.2 A y B).

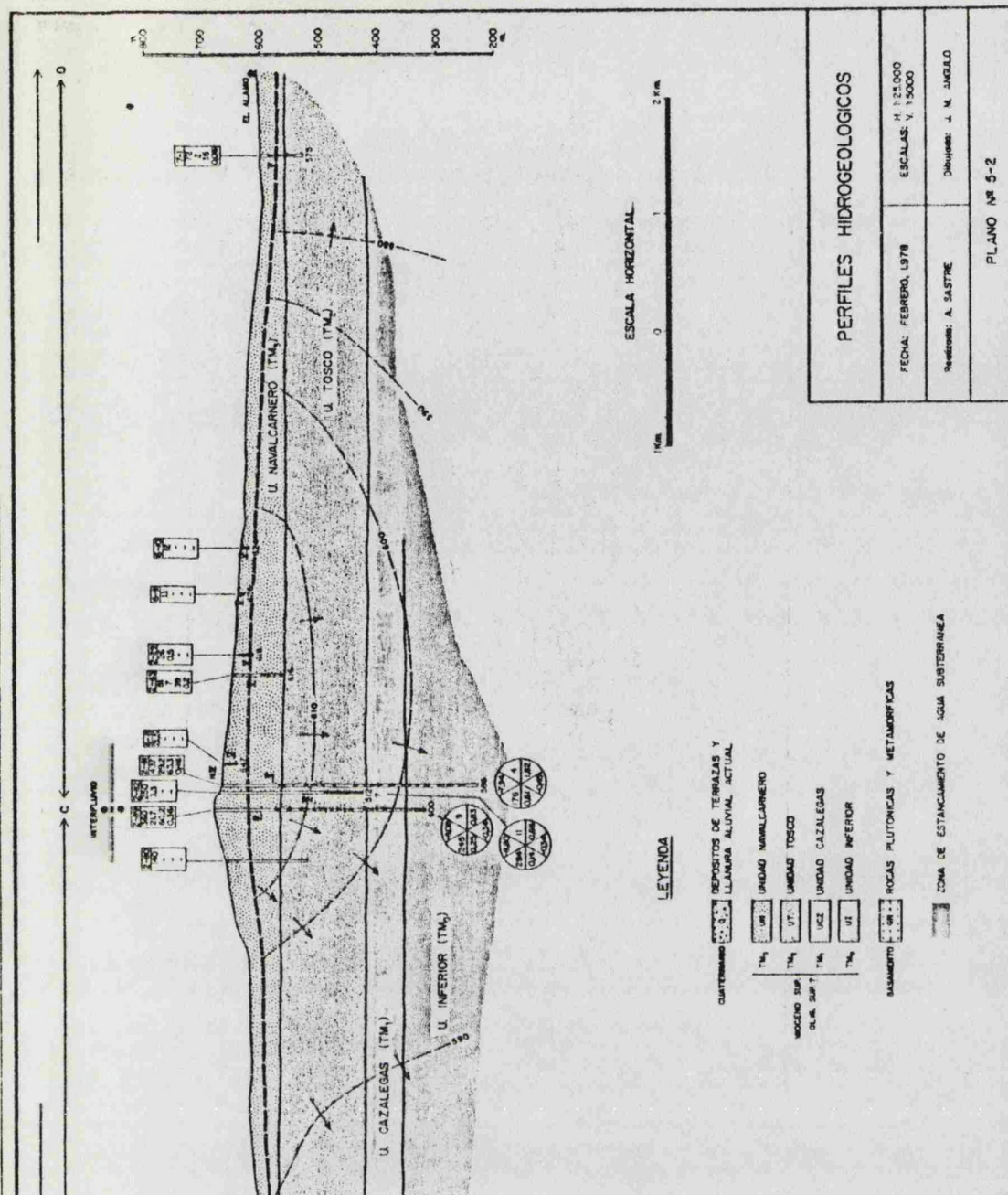
También se observa -y quizá más claramente que en el caso anterior- el efecto de desplazamiento hacia la



←580→ REFERENCIA AL MAR TIPOGRAFICO  
NACIONAL A ESCALA 1:50000  
A ← B  
● ●  
DIVISION DE AGUAS SUPERFICIALES  
A-NUMERO EN EL INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA  
B-PROFUNDIDAD DEL FONDO (m)  
C-ALCANTARILLADO (m)  
D-CAUDAL ESPESOR (l/seg/m²)  
E-CAUDAL ESTICO DE LA AGUA REGIONAL  
F  
NIVEL ESTATICO DEL AGUA REGIONAL  
G  
NIVEL ESTATICO DEL AGUA COLGADO  
H  
LIMITE SUPERIOR DE LA ZONA SALADA  
I  
SUPERFICIE EQUIPOTENCIAL COTA SOBRE EL NIVEL DEL MAR  
J  
PRESION DEL FONDO DE AGUA SUBTERRANEA  
K  
ZONA FLUJANTE  
L  
ZONA PEGIA HEN TODO EL FONDO DESCENDIENTE  
M  
DE LA SITUACION DE LAS TONAS FLUJANTES  
N  
COTA DEL PIEL DEL AGUA SOBRE EL NIVEL DEL MAR  
O  
COTA DEL FONDO DE AGUA SUBTERRANEA  
P  
COTA DEL FONDO DE AGUA SUBTERRANEA  
Q  
COTA DEL FONDO DE AGUA SUBTERRANEA  
R  
COTA DEL FONDO DE AGUA SUBTERRANEA  
S  
COTA DEL FONDO DE AGUA SUBTERRANEA  
T  
COTA DEL FONDO DE AGUA SUBTERRANEA  
U  
COTA DEL FONDO DE AGUA SUBTERRANEA  
V  
COTA DEL FONDO DE AGUA SUBTERRANEA  
W  
COTA DEL FONDO DE AGUA SUBTERRANEA  
X  
COTA DEL FONDO DE AGUA SUBTERRANEA  
Y  
COTA DEL FONDO DE AGUA SUBTERRANEA  
Z  
COTA DEL FONDO DE AGUA SUBTERRANEA



ESQUEMA DE  
SITUACION DEL PERFIL







A



B

Fig.8.2. A y B.- Interfluvio Alberche-Guadarrama en el sector Navalcarnero-Valmojado; pueden observarse también aquí indicios de déficit de humedad del suelo. Alrededores de Navalcarnero (Madrid).

cuenca del río Guadarrama de la divisoria de aguas subterráneas.

La tendencia a la horizontalidad de las líneas de corriente es también más acusada; ello es lógico si se tiene en cuenta la proximidad del zócalo. Como mostramos en el corte II-II' del plano n°2, aproximadamente coincidente con el trazado de este perfil, entre el interfluvio y el arroyo Grande el citado zócalo se encuentra a profundidades próximas a los 500 m. (Umbral de Navalcarnero), por lo que el flujo de agua subterránea debe verse obligado a adoptar rápidamente una trayectoria horizontal.

El efecto del accidente tectónico del zócalo que origina la depresión de Aldea del Fresno sobre la malla de flujo es evidente : aproximadamente encima de su trazado, la trayectoria horizontal de las líneas de corriente sufre una neta inflexión hacia la vertical para disponerse de nuevo horizontales una vez que dicho accidente ha sido superado.

Por último, conforme se aproximan al río Perales aparecen las componentes verticales ascensionales del flujo; desgraciadamente carecemos de datos de niveles en el fondo del valle propiamente dicho.

En la margen derecha, como en el caso anterior, es muy probable la existencia de zonas de estancamiento junto al contacto con el granito, así como bajo la pequeña divisoria próxima al Perales.

8.4.- PERFIL SANTA CRUZ DEL RETAMAR - QUISMONDO - RIO  
ALBERCHE (Plano 5.3).

La zona de recarga con flujo vertical descendente da pronto paso al flujo horizontal. Al W. de Quismondo puede observarse una pequeña área de descarga causada por la trayectoria ascendente de las líneas de corriente, posiblemente originada a su vez por las primeras "estribaciones" del importante "alto magnético de Maqueda-Escalona señalado en el zócalo por Hernández, M.E. (1.974) (ver apartado 8.5.). En dicha zona existen pozos surgentes (pozos 603-2-6 y 603-2-7) y en general condiciones de exceso de humedad del suelo.

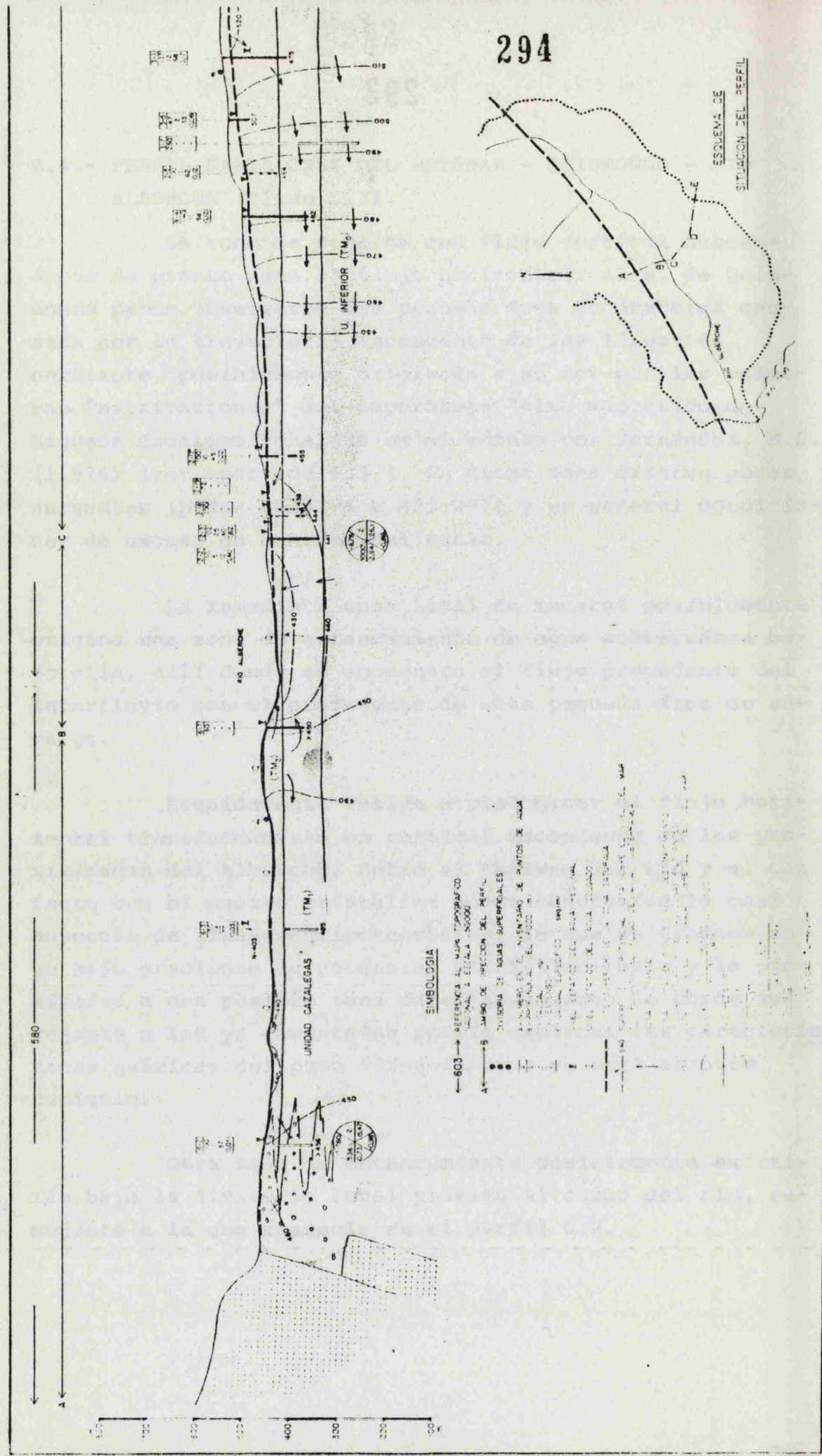
La inmediata zona local de recarga posiblemente origina una zona de estancamiento de agua subterránea bajo ella, allí donde se encuentra el flujo procedente del interfluvio con el procedente de esta pequeña área de recarga.

Seguidamente vuelve a predominar el flujo horizontal transformándose en vertical ascendente en las proximidades del Alberche. Entre el thalweg del río y el contacto con el macizo cristalino puede observarse la casi ausencia de líneas equipotenciales, lo que se traduce en un bajo gradiente de potencial hidráulico; esto y la proximidad a una posible zona de estancamiento de borde semejante a las ya comentadas podría explicar las características químicas del pozo 580-6-2, como se verá en otro capítulo.

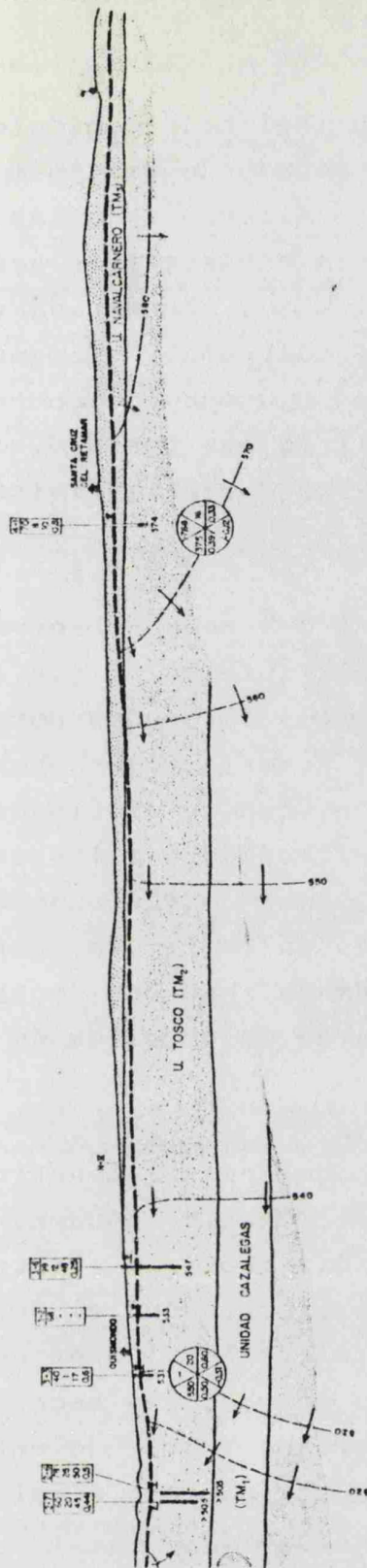
Otra zona de estancamiento posiblemente existiría bajo la divisoria local próxima al curso del río, semejante a la que aparecía en el perfil 5.2.

293

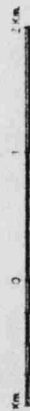




INTERLUJO  
ALBERCA DE GUADARRAMA



ESCALA HORIZONTAL



295

LEYENDA

DEPOSITOS DE TERRAZAS Y  
LLANURA ALUVIAL ACTUAL

ANGLO NAVALCARNERO

ANGLO TOSCO

ANGLO CAZALEGAS

ANGLO INTERIOR

ROCAS PLUTONICAS Y METAMORFICAS

ZONA DE ESTANCAMIENTO DEL AGUA SUBTERRANEA

PERFILES HIDROGEOLOGICOS

FECHA: FEBRERO, 1979

ESCALAS: 1:25,000

PROYECTO: A. CASTRO

PROYECTO: J. M. ANGULO

PLANO Nº 5-3

#### 8.5.- PERFIL TORRIJOS - MAQUEDA - RIO ALBERCHE (Plano 5.4)

En el trazado de este perfil hidrogeológico y del que sigue (Plano 5.5) hemos tratado de mantener la perpendicularidad al curso del río Alberche y a las dos direcciones sucesivas que adopta la divisoria de aguas superficiales entre este río y el Tajo, abandonada ya la divisoria con la cuenca del río Guadarrama. Así pues hemos hecho coincidir ambos perfiles hidrogeológicos en el thalweg del Alberche para a partir de ese punto diverger, buscando cada uno la perpendicularidad con la divisoria aludida.

Centrándonos en el plano 5.4 puede observarse una amplia divisoria de aguas superficiales (Fig.8.3), de suave relieve, con alomados cerros coronados por delgadas capas de calizas con sílex, como las que coronan el cerro del castillo de Barcience, que se distingue en el horizonte de la figura aludida; respecto a las características de sequedad del suelo, como corresponde a una zona de recarga, si no muy patente en la figura, por haberse tomado ésta en una época húmeda, hay que decir que el cultivo que en ella se observa es de cereales de secano.

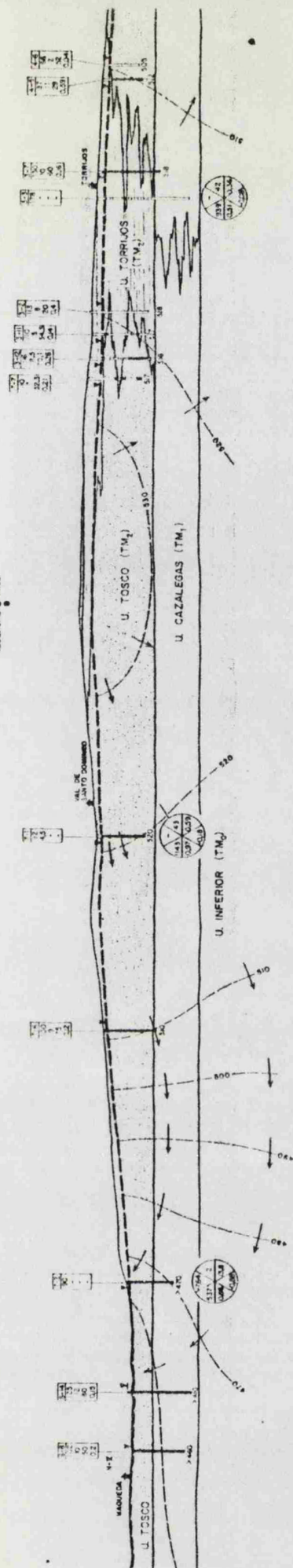
Hacia el NW, el trazado del perfil penetra en el "alto magnético" de Maqueda-Escalona (Hernández, M.E., 1.974) que en principio puede asimilarse a la existencia de un "umbral" en el zócalo, cuyo efecto será el de interrumpir la disposición horizontal de las líneas de corriente haciéndoles adoptar una trayectoria ascendente hasta que dicho accidente es superado, volviendo entonces aquéllas a adoptar la disposición horizontal; el efecto se recoge esquemáticamente en la Fig.8.4.

297





INTERLUPIO  
ALBERCHE Y LAGO

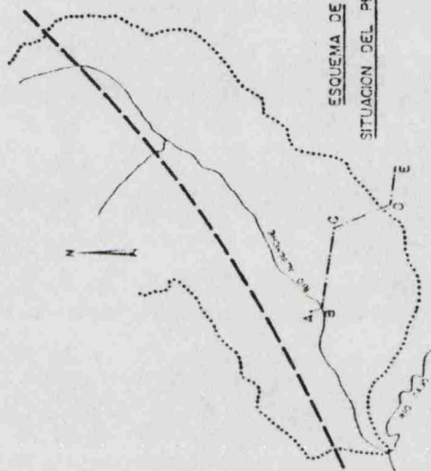


# LEYENDA

DEPOSITOS DE TERRAZAS Y  
LLENADA ALUVIAL ACTUAL

CUATERNARIO	UNIDAD TOSCO
TM <sub>1</sub>	UNIDAD TORRIJOS
TM <sub>2</sub>	UNIDAD EL CARPIO
TM <sub>3</sub>	UNIDAD CAZALEGAS
TM <sub>4</sub>	UNIDAD MALPICA
TM <sub>5</sub>	UNIDAD INFERIOR

## ESQUEMA DE SITUACION DEL PERFIL



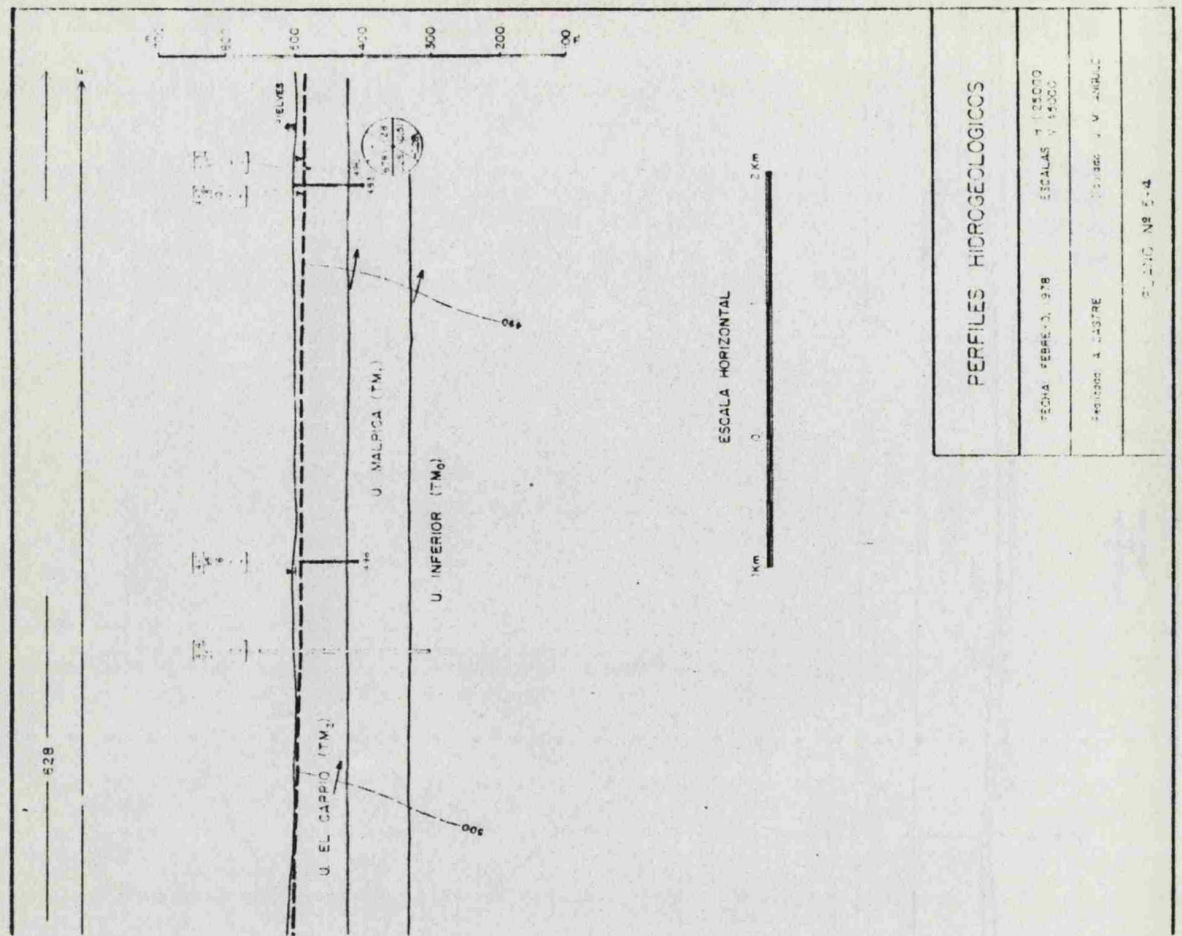




Fig.8.3. : Aspecto de la divisoria de aguas superficiales entre la cuenca del Tajo y la del Alberche; al fondo el castillo de Barcience. Alrededores de Torrijos (Toledo).

En consonancia con todo ello, en los alrededores de Maqueda es normal el carácter surgente de los pozos perforados, como indicamos en el plano 5.4. El exceso de humedad del suelo se refleja en la presencia de freatofitas de la figura 8.5. : el agua circula todo el año por el curso superficial que en ella aparece. Precisamente por coincidir en un sector con el curso de dicho arroyo, la zona de descarga que nos ocupa presenta una anormal dimensión.

Seguidamente el flujo vuelve a adoptar una disposición horizontal e incluso descendente hasta las inmediaciones del río Alberche, coincidiendo con un marcado "bajo magnético" (depresión en el zócalo); el pozo 603-5-5 vuelve a tener propiedades surgentes. Es precisamente aquí donde este perfil enlaza con el que se representa en



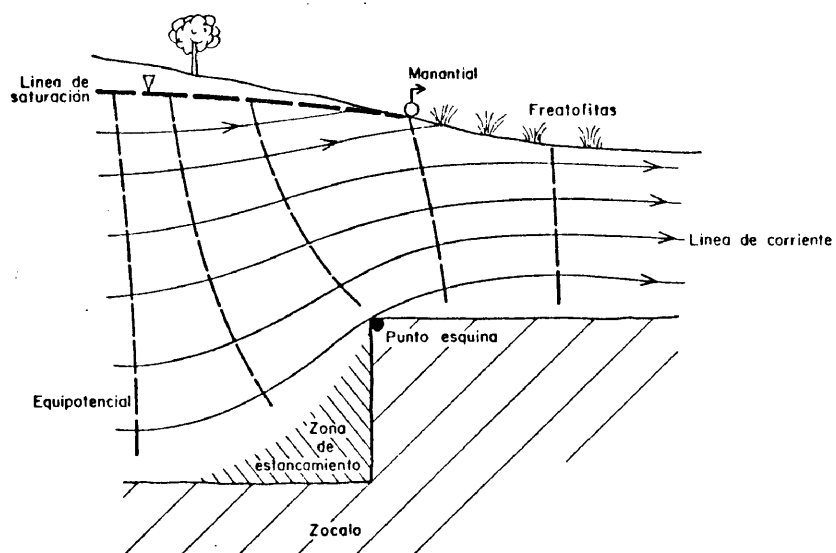


Fig.8.4.: Efecto esquemático de un umbral del zócalo sobre la disposición de las líneas de corriente.



Fig.8.5.: Condiciones de exceso de humedad en áreas de descarga de aguas subterráneas. Corresponde al área de descarga de Maqueda. Vista desde el cerro del castillo de Maqueda (Toledo).

el plano 5.5, que pasamos a comentar a continuación.

8.6.- PERFIL RIO TAJO - CARRICHES - RIO ALBERCHE  
(Plano 5.5).

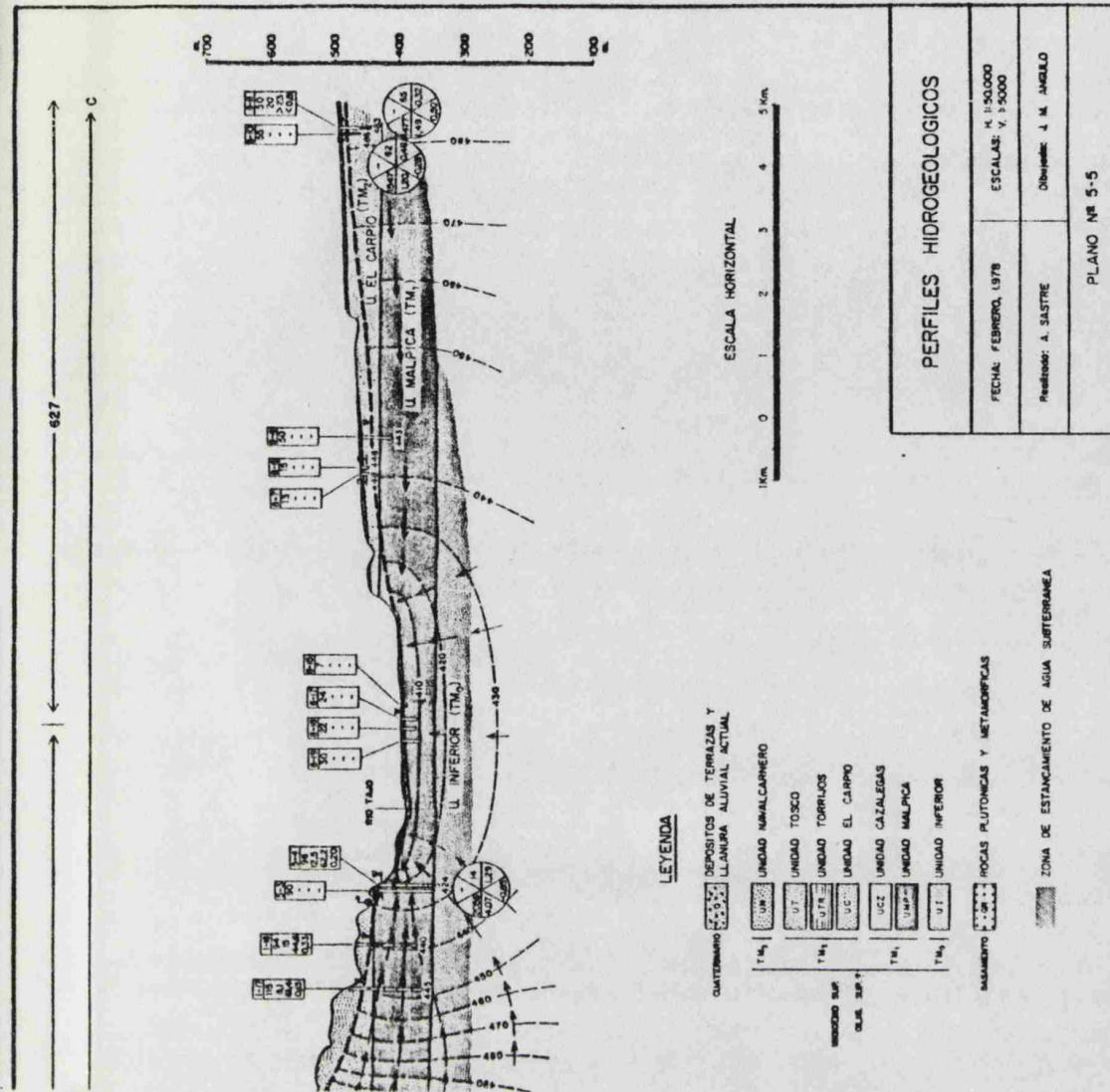
La exageración de la escala vertical frente a la horizontal es en este caso y en los siguientes de diez veces, por lo que la razón de anisotropía considerada  $K_h/K_v$  es 100.

Llama la atención en primer lugar la acumulación de equipotenciales entre el interfluvio Alberche-Tajo y el thalweg de este último río, lo que es concordante con la gran pendiente de la línea de saturación en ese mismo sentido. Efecto de ello es el desplazamiento marcado y progresivo de la divisoria de aguas subterráneas hacia la cuenca del Alberche.

Progresando hacia el thalweg de este último río se observa una zona de descarga local de agua subterránea, con manifestación de pozos surgentes (pozos 603-5-1 y 603-5-2) con aguas cuyo quimismo revela una cierta evolución geoquímica, como se verá en el capítulo siguiente; asimismo se pueden apreciar las condiciones de exceso de humedad del suelo, como mostramos en las figuras 8.6. A y B.

Inmediatamente aparece una zona de recarga local, bajo la cual posiblemente exista una zona de estancamiento como resultado de la interferencia del flujo de agua que de ella parte y el más profundo procedente del interfluvio Tajo-Alberche. Desde aquí la pendiente de la línea de saturación hacia el curso de este último río es acusada, produciéndose otra acumulación de líneas equi





# PERFILES HIDROGEOLOGICOS

FECHA: FEBRERO, 1978

ESCALAS: H. 1:50,000  
V. 1:5,000

Redactor: A. SASTRE

Dibujante: J. M. ANGULO

PLANO Nº 5-5



A



B

Fig.8.6. A y B : Condiciones de exceso de humedad del suelo en áreas de descarga de aguas subterráneas. Corresponden al área de descarga representada en el plano 5.5 junto a los pozos 603-5-1 y 603-5-2. Alrededores de Santa Olalla (Toledo).



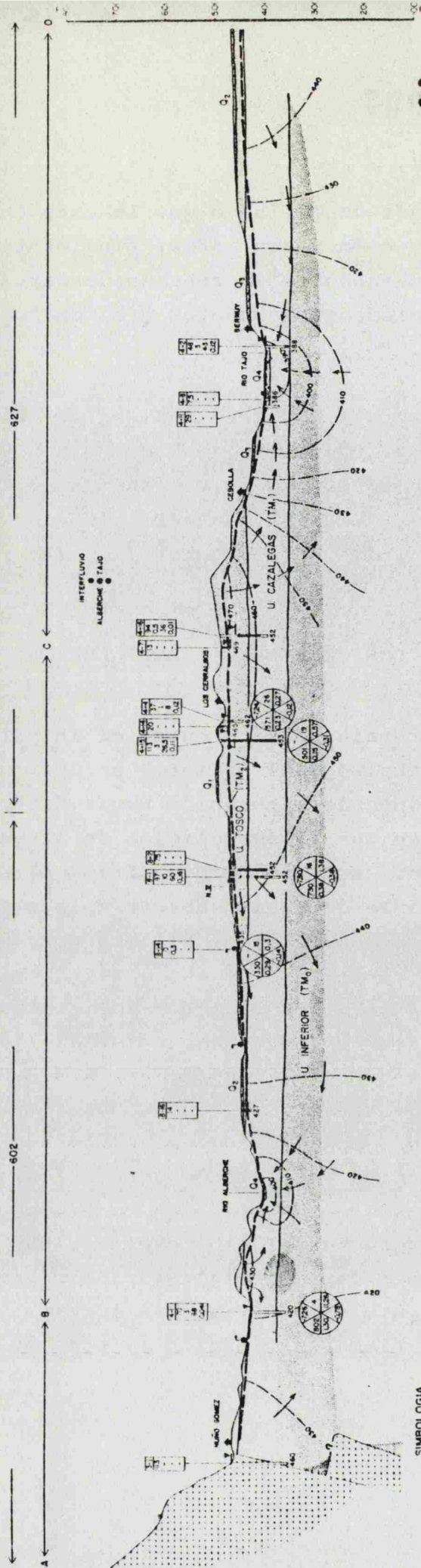
potenciales, menos acusada desde luego que la existente hacia el curso del Tajo, como vimos antes; finalmente el pozo 603-5-5 está emplazado en la zona de descarga global y de ahí las propiedades surgentes y el carácter geoquímico de sus aguas.

Como ya es general, entre el thalweg del Alberche y el macizo cristalino vuelve a observarse un bajo gradiente hidráulico y posibles zonas de estancamiento bajo divisorias locales y junto al contacto con el conjunto granítico.

#### 8.7.- PERFIL RIO TAJO - LOS CERRALBOS - RIO ALBERCHE (Plano 5.6).

La menor diferencia de cota entre el interfluvio Tajo-Alberche y el thalweg del primero, unido a una menor pendiente de la línea de saturación hacia éste que en el caso anterior, hace que la acumulación de líneas equipotenciales sea menor, así como menos nítido el desplazamiento de la divisoria de aguas subterráneas hacia la cuenca del Alberche. De acuerdo con el mapa presentado por Hernández, M.E., el trazado de este perfil coincide con una topografía más o menos uniforme del zócalo; como puede observarse dicha uniformidad se refleja en el flujo del agua subterránea hacia el curso del Alberche: al contrario que en casos anteriores, no se observan zonas locales de recarga o descarga de aguas subterráneas entre el interfluvio aludido y el citado curso fluvial.

En la margen derecha del Alberche se sigue observando un bajo gradiente de potencial hidráulico así como zonas de estancamiento bajo divisorias locales y junto al macizo granítico. Llama la atención el pozo 602-3-1,



LEYENDA

DEPOSITOS DE TERRAZAS Y LLANURA ALUVIAL ACTUAL

UNIDAD TOSCO

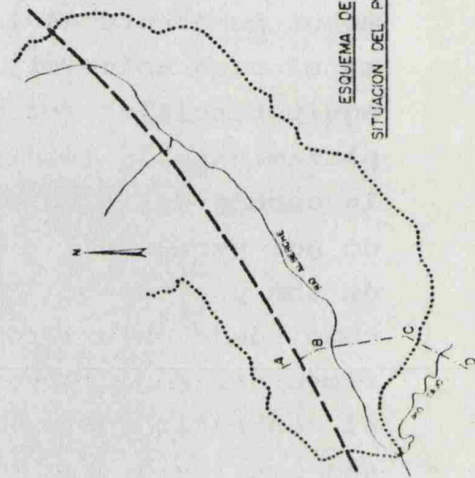
UNIDAD CAZALEGAS

UNIDAD INFERIOR

ROCAS PLUTONICAS Y METAMORFICAS

ZONA DE ESTANCAMIENTO DE AGUA SUBTERRANEA

ESQUEMA DE SITUACION DEL PERFIL



SIMBOLOGIA

REFERENCIA AL MAPA TOPOGRAFICO NACIONAL A ESCALA 1:50000

CAMBIO DE DIRECCION DEL PERFIL

DIVISORIA DE AGUAS SUPERFICIALES

A=NUMERO EN EL INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

B=COORDINADA DEL PUNTO (m)

C=COORDINADA DEL PUNTO (m)

D=CAUDAL ESPECIFICO (l/m<sup>2</sup>/m)

NIVEL ESTADISTICO DEL AGUA REGIONAL

NIVEL ESTADISTICO DEL AGUA COLGADO

LIMITE SUPERIOR DE LA ZONA SATURADA

SUPERFICIE EMPOTENCIAL, COTA SOBRE EL NIVEL DEL MAR

DIRECCION DEL FLUJO DE AGUA SUBTERRANEA

ZONA FILTRANTE

ZONA DE ESTANCAMIENTO DE AGUA SUBTERRANEA

COTE DEL NIVEL DEL AGUA SOBRE EL NIVEL DEL MAR

1:50000

1:50000

1:50000

1:50000

1:50000

PERFILES HIDROGEOLOGICOS

FECHA: FEBRERO, 1979

ESCALAS: 1:2500

ESCALAS: 1:500

Realizado: A. SASTRE

Dibujado: J. M. JARA

PLANO Nº 5-6

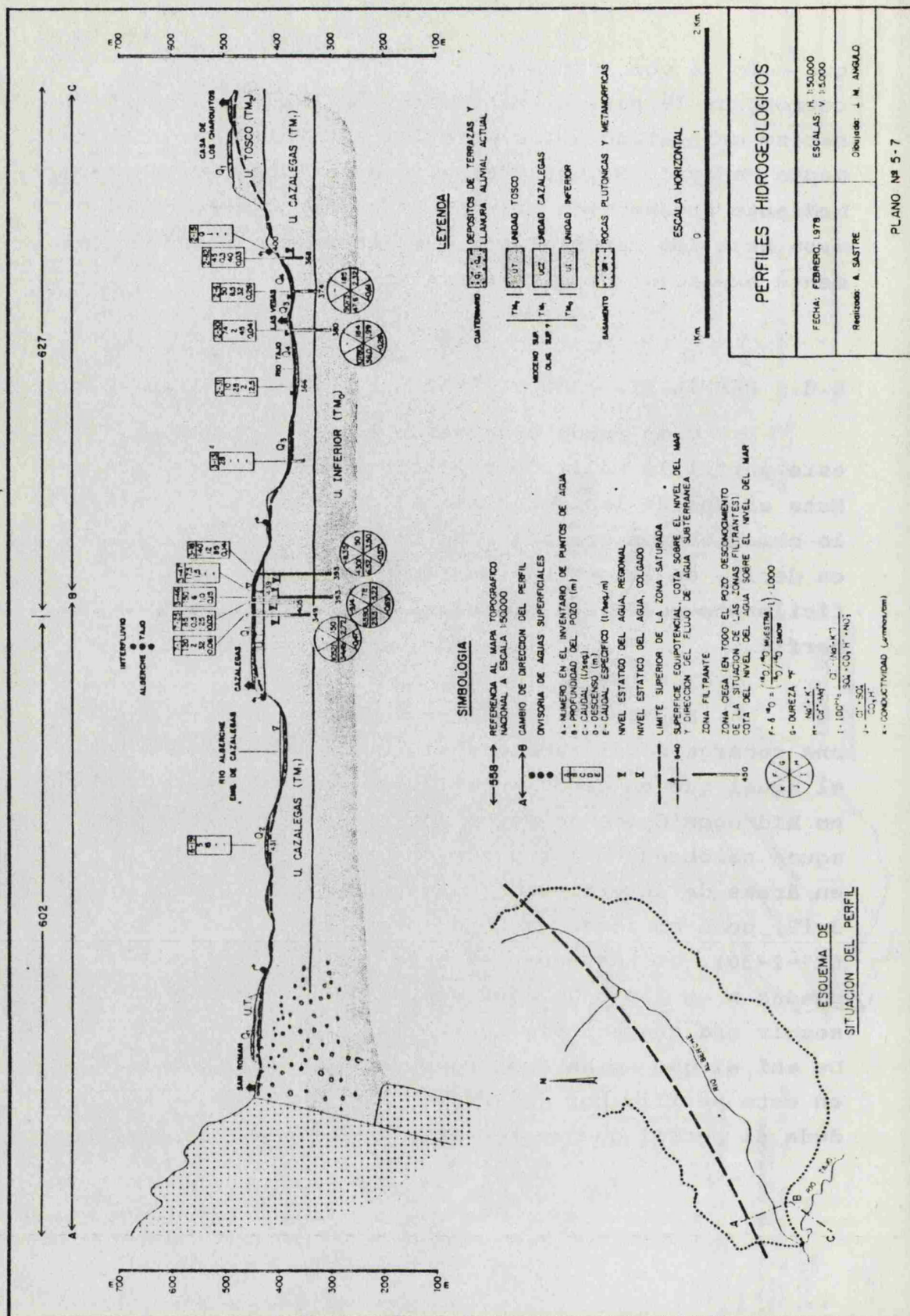
que como ya comentamos en el capítulo 3, ha servido para corroborar la naturaleza inversa del contacto entre el macizo cristalino y los materiales terciarios; precisamente Cadavid, S., (1.978) ha encontrado en esta zona, mediante prospección gravimétrica, un notable defecto de masa bajo los materiales graníticos, que queda perfectamente explicado de esta forma.

#### 8.8.- PERFIL RIO TAJO - CAZALEGAS - SAN ROMAN (Plano 5.7).

Como puede observarse no hemos representado en este perfil la malla de flujo de las aguas subterráneas. Esta es una de las zonas que al principio de este capítulo comentábamos en la que no se cumple que  $\oint \phi / \delta_y = 0$ , es decir, en la que hay un flujo tridimensional que difícilmente puede estudiarse en las dos dimensiones del perfil.

En efecto, puede pensarse en la existencia de una recarga local asociada al interfluvio Tajo-Alberche, al igual que en casos anteriores; no obstante el fenómeno hidrogeológico de mayor interés es la existencia de aguas salobres en los pozos de mayor profundidad, tanto en áreas de interfluvio (pozos 602-7-1, 602-3-46, 627-3-18) como en zonas de fondo de valle (pozos 627-2-6 y 627-2-30). Dichas aguas salobres posiblemente están asociadas a un flujo de agua subterránea profundo que debe seguir una trayectoria perpendicular al plano del dibujo. De ahí el que no hayamos representado la malla de flujo en este perfil, por considerar más adecuada la dirección dada al perfil que se representa en el plano 5.9.





8.9.- PERFIL INTERFLUVIO ALBERCHE - GUADARRAMA - RIO TAJO  
(Plano 5.8).

En este perfil hidrogeológico, que sigue el trazado de la divisoria hidrográfica del Alberche desde que entra en la llanura terciaria hasta los alrededores de Torrijos, solo hemos representado la malla de flujo desde que el trazado de aquél abandona el área de divisoria -alrededores de Gerindote- para descender hacia el valle del Tajo. La justificación de esto ya ha sido comentada anteriormente : una de las condiciones del modelo de flujo es que las áreas de interfluvio son límites impermeables de flujo teóricos, como vimos en la Fig.

7.2. A, luego no puede haber flujo de agua subterránea en esa dirección; además también hemos comentado que  $\partial\phi/\partial y = 0$ , es decir el flujo es bidimensional.

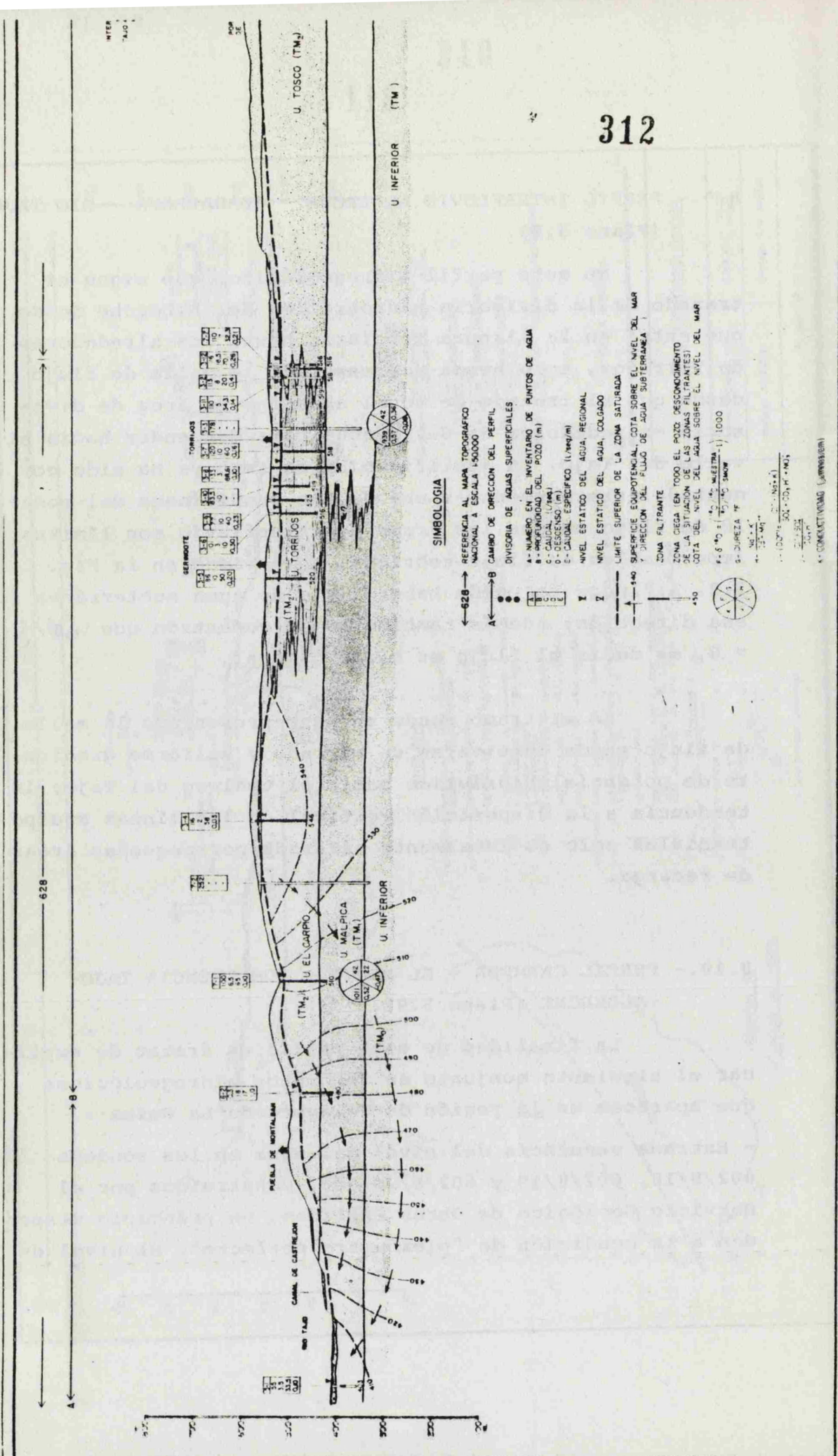
En el tramo donde se ha representado la malla de flujo puede observarse un marcado y uniforme gradiente de potencial hidráulico hacia el thalweg del Tajo; la tendencia a la disposición vertical de las líneas equipotenciales solo es localmente alterada por pequeñas áreas de recarga.

8.10.- PERFIL CARMENA - EL BRAVO - CONFLUENCIA TAJO-  
-ALBERCHE (Plano 5.9).

La finalidad de este perfil es tratar de explicar el siguiente conjunto de fenómenos hidrogeológicos que aparecen en la región de Talavera de La Reina :

- Extraña secuencia del nivel del agua en los sondeos 602/8/18, 602/8/19 y 602/8/20 que, contruídos por el Servicio Geológico de Obras Públicas, en principio responden a la condición de "piezómetro perfecto". El nivel de





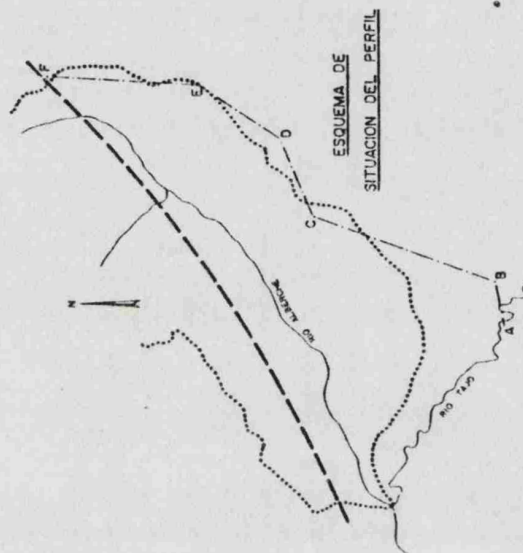
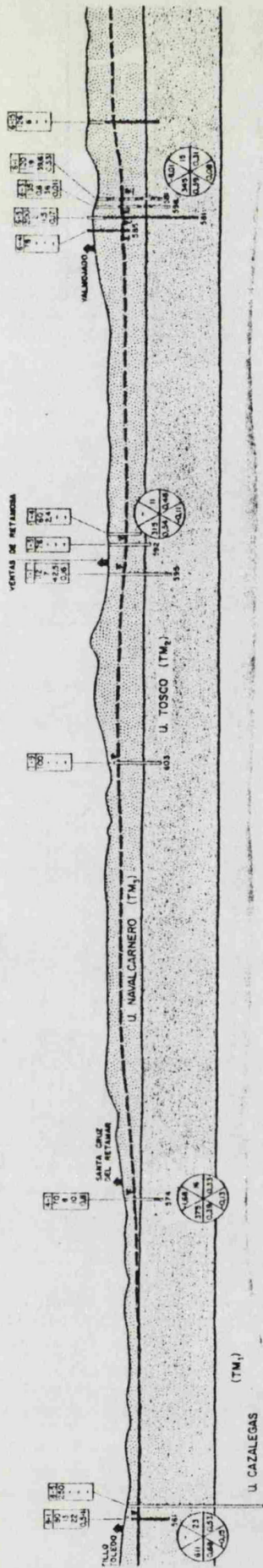
# SIMBOLOGIA

- ← 628 → REFERENCIA AL MAPA TOPOGRAFICO NACIONAL A ESCALA 1:50,000
- A ← B CAMINO DE DIRECCION DEL PERFIL
- DIVISORIA DE AGUAS SUPERFICIALES
- A- NUMERO EN EL INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA
- B- PROFUNDIDAD DEL POZO (m)
- C- CANTIDAD DE AGUA (l/m<sup>2</sup>/d)
- D- DESCENSO
- E- CAUDAL ESPECIFICO (l/m<sup>2</sup>/m)
- F- NIVEL ESTADICO DEL AGUA REGIONAL
- G- NIVEL ESTADICO DEL AGUA COLGADO
- H- LIMITE SUPERIOR DE LA ZONA SATURADA
- I- SUPERFICIE EQUIPOTENCIAL, COTA SOBRE EL NIVEL DEL MAR
- J- DIRECCION DEL FLUJO DE AGUA SUBTERRANEA
- K- ZONA FILTRANTE
- L- ZONA CIEGA EN TODO EL POZO (DESCONOCIMIENTO DE LA SITUACION DE LAS ZONAS FILTRANTE)
- M- COTA DEL NIVEL DEL AGUA SOBRE EL NIVEL DEL MAR
- N-  $P = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi r^2} = \frac{Q}{\pi \cdot 1000^2}$
- O- DUREZA (°)
- P- DUREZA (°)
- Q- DUREZA (°)
- R- DUREZA (°)
- S- DUREZA (°)
- T- DUREZA (°)
- U- DUREZA (°)
- V- DUREZA (°)
- W- DUREZA (°)
- X- DUREZA (°)
- Y- DUREZA (°)
- Z- DUREZA (°)

FLUYO  
ALBENQUE

603

604



ESQUEMA DE  
SITUACION DEL PERFIL



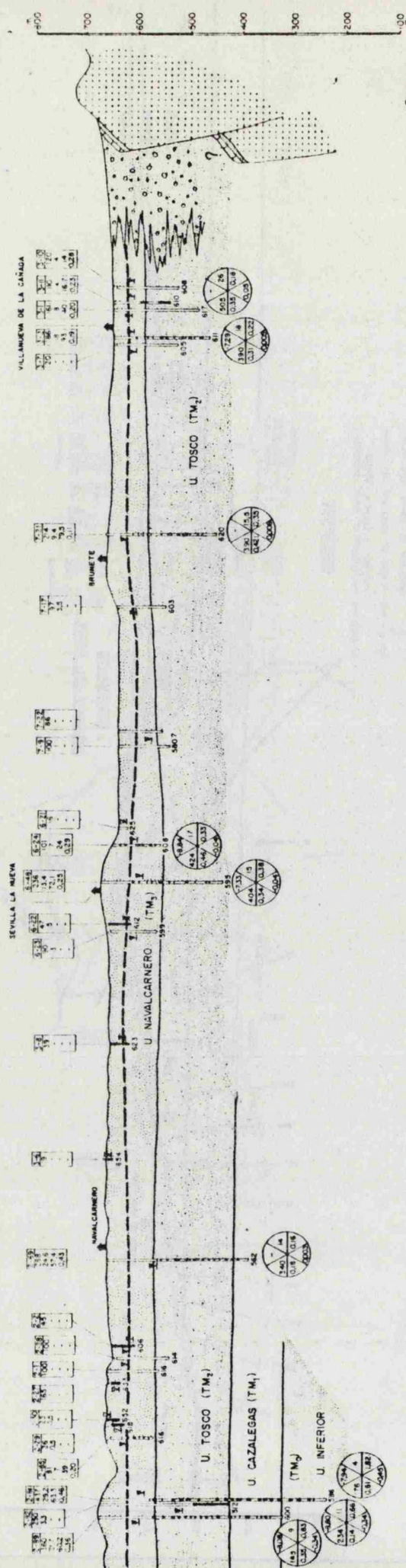
581

558

558

F

E



314

ESCALA HORIZONTAL

1 Km 0 2 Km

QUATERNARIO DEPOSITOS DE TIERRAZAS Y LLANURA ALUVIAL ACTUAL

TM <sub>4</sub>	UN	UNIDAD NAVALCARNERO
	UT	UNIDAD TOSCO
TM <sub>3</sub>	UTR	UNIDAD TORRIJOS
	UC	UNIDAD EL CARPO
	UC	UNIDAD CAZALEGAS
TM <sub>2</sub>	SUP	UNIDAD MALPICA
TM <sub>1</sub>	UT	UNIDAD INFERIOR

CRETACICO

MATERIALES CRETACICOS

SAZUENTO

ROCAS PLUTONICAS Y METAMORFICAS

PERFILES HIDROGEOLOGICOS

FECHA: FEBRERO, 1978

ESCALAS: 1:10,000 Y 1:5,000

Rediseño: A. SASTRE

Dibujado: J. M. ANGULO

PLANO Nº 5-B

## 315

agua en el menos profundo está a 421 m. s.n.m., en el intermedio desciende a 409 m. s.n.m. y en el más profundo (186 m.) nuevamente es de 421 m.

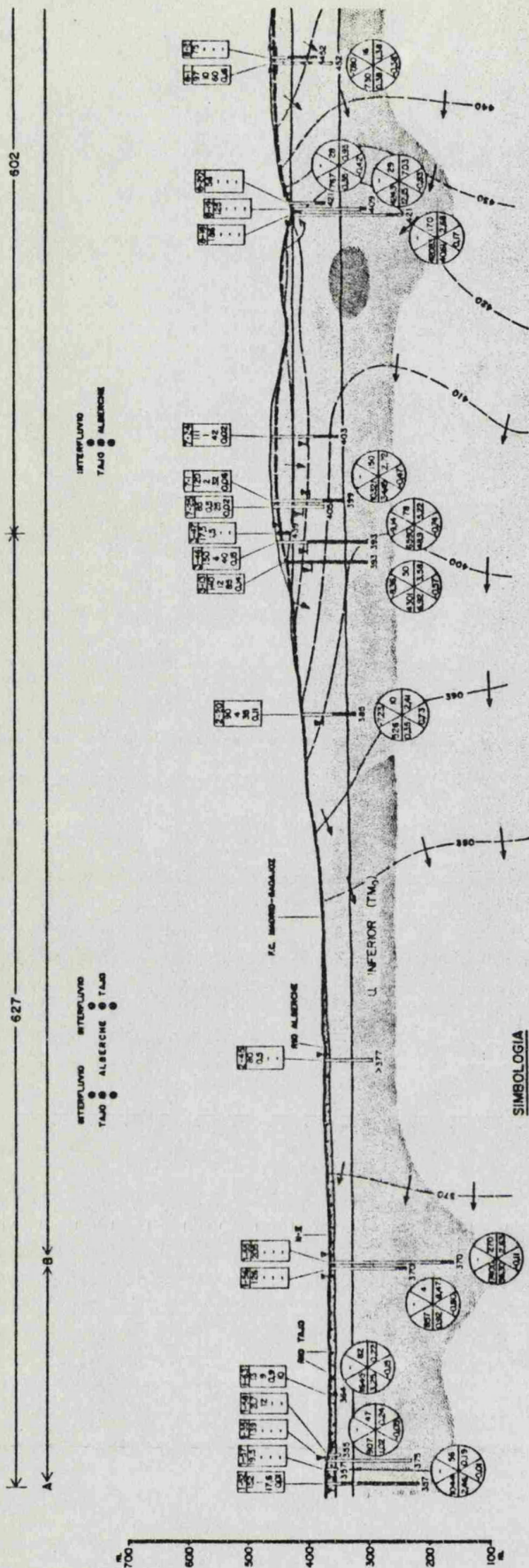
- Características químicas muy diferentes de las muestras de agua tomadas en cada uno de dichos sondeos : "grosso modo" puede decirse que el contenido mineral aumenta rápida y bruscamente con la profundidad.

- Quimismo de las aguas subterráneas bajo el interfluvio Tajo-Alberche : en condiciones estáticas la naturaleza química de las aguas subterráneas es muy distinta de la obtenida en condiciones dinámicas, esto es, sometiendo los pozos a bombeo (ver los análisis 602-7-1 A y 602-7-1 B, Anejo V); en estas últimas aparecen aguas salobres, a pesar de que siempre ejercen cierta influencia las aguas de mejor calidad infiltradas "in situ". En áreas de fondo de valle, donde el flujo de agua subterránea es ascendente, esta influencia no aparece.

- La situación de la línea de saturación es suficientemente conocida merced al pozo 627-3-47; no obstante el nivel del agua en los pozos profundos (627-3-18, 627-3-46, 602-7-25, 602-7-1 y 602-7-24) es anormalmente bajo.

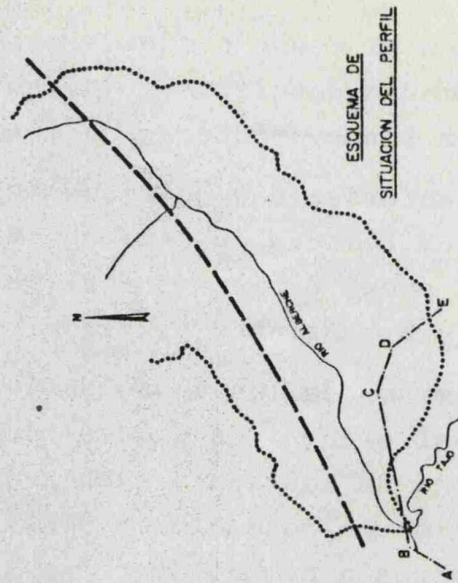
- Ya en el fondo del valle llama la atención la nula diferencia del nivel de agua en los sondeos 627-1-55 y 627-1-56 -también contruídos por el Servicio Geológico de Obras Públicas-, a pesar de su apreciable diferencia de profundidad -126 m. frente a 205 m.-. Dado también aquí el carácter de piezómetro "perfecto", habría que esperar un nivel más alto en el sondeo más profundo. Igualmente, un pozo contruído por procedimientos mecánicos en la primera decena del siglo actual en las proximidades del emplazamiento de estos sondeos tampoco resultó surgente (Fernández Navarro, L., 1.909; Alvarez, M., 1.909).

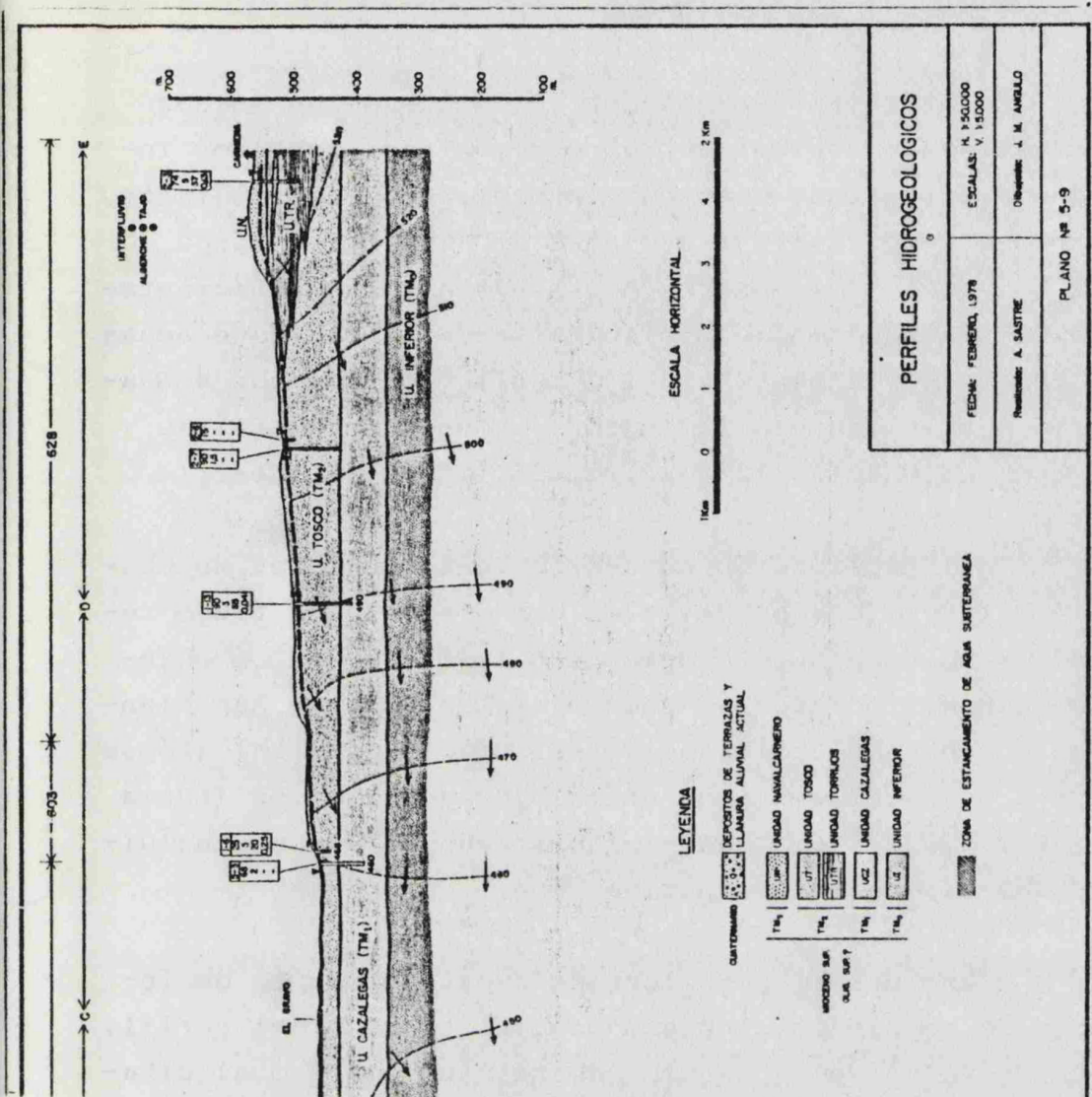




# SIMBOLOGIA

- ← 627 → REFERENCIA AL MAPA TOPOGRAFICO NACIONAL A ESCALA 1:50,000
- A → B CAMBIO DE DIRECCION DEL PERFIL
- DIVISORIA DE AGUAS SUPERFICIALES
- A - NUMERO EN EL INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA
- B - PROFUNDIDAD DEL POZO (m)
- C - CAUDAL (l/m<sup>2</sup>s)
- D - DESCENSO (m)
- E - CAUDAL ESPECIFICO l/m<sup>2</sup>/m
- NIVEL ESTADICO DEL AGUA, REGIONAL
- NIVEL ESTADICO DEL AGUA, COLGADO
- LIMITE SUPERIOR DE LA ZONA SATURADA
- SUPERFICIE EQUIPOTENCIAL, COTA SOBRE EL NIVEL DEL MAR
- DIRECCION DEL FLUJO DE AGUA SUBTERRANEA
- ZONA FILTRANTE
- ZONA CIEGA (EN TODO EL POZO DESCENDIMIENTO DE LA SITUACION DE LAS ZONAS FILTRANTE)
- COTA DEL NIVEL DEL AGUA SOBRE EL NIVEL DEL MAR
- $P = \frac{Q}{A} = \left( \frac{Q}{\pi r^2} \right) \frac{1}{\sin \theta}$
- Q - Caudal
- r - RADIO
- $\theta$  - ANGULO
- N - NIVEL
- 1 - 100%
- 2 - 50%
- 3 - 25%
- 4 - 12.5%
- 5 - 6.25%
- 6 - 3.125%
- 7 - 1.5625%
- 8 - 0.78125%
- 9 - 0.390625%
- 10 - 0.1953125%
- 11 - 0.09765625%
- 12 - 0.048828125%
- 13 - 0.0244140625%
- 14 - 0.01220703125%
- 15 - 0.006103515625%
- 16 - 0.0030517578125%
- 17 - 0.00152587890625%
- 18 - 0.000762939453125%
- 19 - 0.0003814697265625%
- 20 - 0.00019073486328125%
- 21 - 9.5367431640625e-05%
- 22 - 4.76837158203125e-05%
- 23 - 2.384185791015625e-05%
- 24 - 1.1920928955078125e-05%
- 25 - 5.9604644775390625e-06%
- 26 - 2.98023223876953125e-06%
- 27 - 1.490116119384765625e-06%
- 28 - 7.450580596923828125e-07%
- 29 - 3.7252902984619140625e-07%
- 30 - 1.86264514923095703125e-07%
- 31 - 9.31322574615478515625e-08%
- 32 - 4.656612873077392578125e-08%
- 33 - 2.3283064365386962890625e-08%
- 34 - 1.16415321826934814453125e-08%
- 35 - 5.82076609134674072265625e-09%
- 36 - 2.910383045673370361328125e-09%
- 37 - 1.4551915228366851806640625e-09%
- 38 - 7.2759576141834259033203125e-10%
- 39 - 3.63797880709171295166015625e-10%
- 40 - 1.818989403545856475830078125e-10%
- 41 - 9.094947017729282379150390625e-11%
- 42 - 4.5474735088646411895751953125e-11%
- 43 - 2.27373675443232059478759765625e-11%
- 44 - 1.136868377216160297393798828125e-11%
- 45 - 5.684341886080801486968994140625e-12%
- 46 - 2.8421709430404007434844970703125e-12%
- 47 - 1.42108547152020037174224853515625e-12%
- 48 - 7.10542735760100185871124267578125e-13%
- 49 - 3.552713678800500929355621337890625e-13%
- 50 - 1.7763568394002504646778106689453125e-13%
- 51 - 8.8817841970012523233890533447265625e-14%
- 52 - 4.44089209850062616169452667236328125e-14%
- 53 - 2.220446049250313080847263336181640625e-14%
- 54 - 1.1102230246251565404236316680908203125e-14%
- 55 - 5.5511151231257827021181583340541015625e-15%
- 56 - 2.77555756156289135105907916702705078125e-15%
- 57 - 1.387778780781445675529539583513525390625e-15%
- 58 - 6.938893903907228377647697917567626953125e-16%
- 59 - 3.4694469519536141888238489587838134765625e-16%
- 60 - 1.73472347597680709441192447939190673828125e-16%
- 61 - 8.67361737988403547205962239695953369140625e-17%
- 62 - 4.336808689942017736029811198479766845703125e-17%
- 63 - 2.1684043449710088680149055992398834228515625e-17%
- 64 - 1.08420217248550443400745279961994171142578125e-17%
- 65 - 5.42101086242752217003726399809970855712890625e-18%
- 66 - 2.710505431213761085018631999049854278564453125e-18%
- 67 - 1.3552527156068805425093159995249271392822265625e-18%
- 68 - 6.7762635780344027125465799976246356964111328125e-19%
- 69 - 3.38813178901720135627328999881231784820556640625e-19%
- 70 - 1.694065894508600678136644999406158924102783203125e-19%
- 71 - 8.470329472543003390683224997030794620513916015625e-20%
- 72 - 4.2351647362715016953416124985153973102569580078125e-20%
- 73 - 2.11758236813575084767080624925769865512847900390625e-20%
- 74 - 1.058791184067875423835403124628849327564239501953125e-20%
- 75 - 5.293955920339377119177015623144246637821197509765625e-21%
- 76 - 2.6469779601696885595885078115721233189105987548828125e-21%
- 77 - 1.32348898008484427979425390578606165945529937744140625e-21%
- 78 - 6.61744490042422139897126952893030829727649688720703125e-22%
- 79 - 3.308722450212110699485634764465154148638248443603515625e-22%
- 80 - 1.6543612251060553497428173822325770743191242218017578125e-22%
- 81 - 8.2718061255302767487140869111628853715956211090087890625e-23%
- 82 - 4.13590306276513837435704345558144268579781055450439453125e-23%
- 83 - 2.067951531382569187178521727790721342898905277252197265625e-23%
- 84 - 1.0339757656912845935892608638953606714494526386260986328125e-23%
- 85 - 5.1698788284564229679463043169768033572247631931304931640625e-24%
- 86 - 2.58493941422821148397315215848840167861238159656524658203125e-24%
- 87 - 1.292469707114105741986576079244200839306190798282623291015625e-24%
- 88 - 6.462348535570528709932880396221004196530953991413116455078125e-25%
- 89 - 3.2311742677852643549664401981105020982654769957065582275390625e-25%
- 90 - 1.61558713389263217748322009905525104913273849785327911376953125e-25%
- 91 - 8.07793566946316088741610049527625524566369248926639556884765625e-26%
- 92 - 4.038967834731580443708050247638127622831846244633197784423828125e-26%
- 93 - 2.0194839173657902218540251238190638114159231223165988922119140625e-26%
- 94 - 1.00974195868289511092701256190953190570796156115829944610595703125e-26%
- 95 - 5.04870979341447555463506280954765952853980780579149723052978515625e-27%
- 96 - 2.524354896707237777317531404773829764269903902895748615264892578125e-27%
- 97 - 1.2621774483536188886587657023869148821349519514478743076324462890625e-27%
- 98 - 6.3108872417680944432938285119345744106747597572393715381622314453125e-28%
- 99 - 3.15544362088404722164691425596728720533737987861968576908111572265625e-28%
- 100 - 1.577721810442023610823457127983643602668689939309842884540557861328125e-28%







- Asimismo la naturaleza química de las muestras de agua tomadas en esos dos sondeos son muy diferentes, siendo salobres las del más profundo.

Anteriormente -aunque desde luego con muchos menos datos que los que ahora poseemos- nos habíamos inclinado a justificar este conjunto de fenómenos mediante la hipótesis de un flujo regional de agua subterránea (Sastre, A., 1.975; Sastre, A., 1.976 A y B), suficientemente documentada en la bibliografía; es decir, que aguas infiltradas por ejemplo en el interfluvio Manzanares-Guadarrama aparecieran en la región de menor potencial de la cuenca de Madrid -la confluencia Tajo-Alberche-.

La explicación es teóricamente posible; no obstante la investigación de la existencia o no de flujo regional en la cuenca de Madrid se sale fuera de los objetivos de nuestro estudio; recientes trabajos se han planteado la cuestión utilizando la simulación digital (López Camacho, B., 1.977) o argumentos hidrogeoquímicos (López Vera, F., 1.977). En cualquier caso aún no se ha concluido en una hipótesis definitiva.

Una posible explicación a este conjunto de fenómenos se recoge en el plano 5.9. El trazado del perfil, que puede verse en el esquema de situación anexo al citado plano, responde al posible fenómeno siguiente : una gota de agua que alcanza la zona saturada en el sector Torrijos - Carmena - La Mata iniciará su trayectoria profunda hacia el fondo del valle del Alberche (tramo E D del esquema de situación), pero conforme progresa su recorrido es posible que tienda a dirigirse hacia la región de menor potencial hidráulico (confluencia Tajo-Alberche) (tramo DC primero y CB después), abandonando la

## 319

perpendicularidad al citado curso superficial. Este fenómeno parece deducirse del análisis en esta zona del mapa de isolíneas de niveles medios del agua subterránea que presenta López Camacho, B. (1.977), construido a partir de pozos de profundidad comprendida entre 50 y 200 m.

En cualquier caso la explicación de este fenómeno en solo dos dimensiones es complicada. En el perfil 5.9 se muestra la trayectoria descendente de las líneas de corriente en el área de interfluvio (alrededores de Carmená); las líneas de corriente más profundas adoptan rápidamente una disposición horizontal. La zona de El Bravo es una zona local de recarga.

La interferencia del flujo local descendente de este sector del interfluvio Tajo-Alberche con el flujo más profundo procedente como hemos visto de áreas más orientales de ese mismo interfluvio (el sector Torrijos-Carmena), localmente ascendente posiblemente por efecto de algún accidente del zócalo, deberá originar con probabilidad la zona de estancamiento que indicamos en el plano 5.9 y sería responsable del conjunto de fenómenos hidrogeológicos aludidos :

- La secuencia de niveles en los sondeos 602/8/18, 602/8/19 y 602/8/20 se puede explicar fácilmente por la distribución de potencial propuesta en el plano 5.9 en esa zona.
- Las características químicas diferentes de las muestras de agua de esos sondeos pueden explicarse también fácilmente de esa manera.
- El quimismo de las aguas subterráneas bajo el interfluvio Tajo-Alberche entre los pozos 627/3/18 y 602/7/24 encuentra asimismo explicación : en condiciones estáticas, dada la profundidad de esos pozos y la situación de las

zonas filtrantes se obtendrán análisis como el de la muestra 602/7/1-A, puesto que todos ellos están captando el agua infiltrada "in situ"; sin embargo, en condiciones dinámicas, a pesar del efecto de dilución causado por aquélla, la salinidad aumentará sensiblemente por captar el pozo el flujo más profundo : los análisis de aguas que en esas condiciones se obtienen son los de los pozos 627/3/18, 627/3/46 y 602/7/1-B. El registro de salinidad y temperatura obtenido en el pozo 602/7/24 (Fig.8.7) corrobora estas hipótesis : una zona de agua dulce, una zona de transición y en el fondo del pozo agua salobre.

- Los niveles de agua extrañamente bajos de estos pozos también se justifican con la malla de flujo que se propone; es de destacar la aparición de la zona de estancamiento de agua subterránea por efecto del choque entre el flujo local en sentido estricto y el más profundo.

- Una vez superado el supuesto accidente del zócalo, las líneas de corriente vuelven a adoptar la disposición horizontal, que en nuestra opinión se mantiene bajo el aluvial del Tajo y del Alberche en su zona de confluencia; de esta forma se explican los similares niveles de agua en los sondeos 627/1/55 y 627/1/56, así como las dispares características químicas de las muestras de agua tomadas en ellos.

Solo dos precisiones más para finalizar este apartado : una es que como en el próximo capítulo veremos, las muestras de agua tomadas en áreas de interfluvio son todas parecidas -salvo las del área de Cazalegas- desde el punto de vista relativo; sin embargo, desde el punto de vista absoluto, teniendo en cuenta el mayor contenido en sales solubles de las áreas de centro de cuenca, las muestras tomadas en zonas de interfluvio Alberche-Tajo, siempre próximas a dichas áreas, están más mineraliza

321

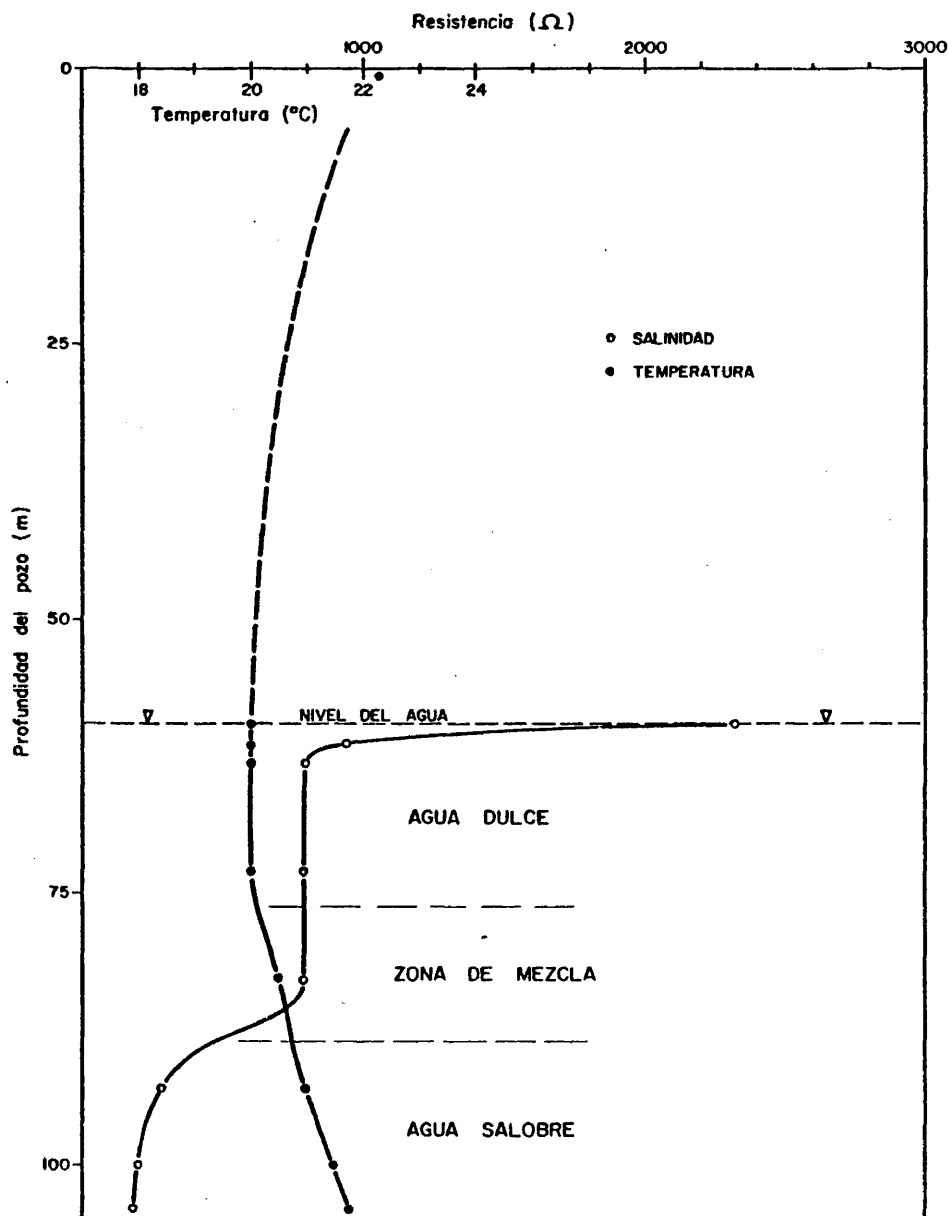


Fig. 8.7.-REGISTRO DE SALINIDAD Y TEMPERATURA OBTENIDO

EN EL POZO 602/7/24

das que las tomadas en las zonas de interfluvio Alberche-Guadarrama, que corresponden a sectores más marginales de la cuenca de sedimentación terciaria. Así pues, las aguas que se infiltren en el sector Torrijos-Carmena responden a la primera de las situaciones acabadas de mencionar, es decir, parten con un contenido de sales en disolución mayor que un agua infiltrada por ejemplo en el sector Navalcarnero-Sevilla La Nueva.

La segunda y última precisión es que en la prospección gravimétrica regional efectuada en este área por el equipo de investigación que dirige el profesor Cadavid (Cadavid, S., 1.978), parecen observarse argumentos en la topografía del zócalo para justificar el flujo localmente ascendente del agua subterránea en el área de Cazalegas. En realidad, dado el posiblemente pequeño espesor de la cobertera terciaria en comparación con el del resto de la Cuenca de Madrid, un accidente relativamente poco acusado en la topografía del zócalo tendrá un efecto más espectacular sobre el flujo de las aguas subterráneas en esta zona, que una importante fractura del basamento en otras áreas de la cuenca terciaria.

#### 8.11.- OSCILACION DEL NIVEL DEL AGUA EN LA RED PIEZOMETRICA DE OBSERVACION.

Con objeto de analizar la evolución estacional del nivel del agua en los pozos, desde los primeros momentos del estudio se adecuó una red piezométrica de observación compuesta de doce pozos y sondeos. Los criterios que argumamos para elegir en su momento la red de puntos, respondieron a especificaciones de diverso orden, entre las que podrían citarse :

- analizar la evolución del nivel del agua en los tres tipos de áreas que, desde el punto de vista hidráulico, componen la región de estudio, es decir, áreas de recarga, flujo horizontal y descarga.
- estudiar el comportamiento en áreas de bombeo concentrado frente a áreas donde la descarga del acuífero por bombeo es despreciable.
- observación de niveles en el área de confluencia Alberche-Tajo, donde se presuponía que algunos pozos y sondeos habían interesado un sistema de flujo profundo.

Ante la extensa red piezométrica resultante, se adoptó una frecuencia mensual en las mediciones. Creemos que sería muy conveniente que la serie de medidas por nosotros iniciadas fueran continuadas por algún organismo competente de la Administración del Estado. Con el conocimiento que actualmente poseemos de la región de estudio, muy superior al que se tenía en el momento de la elección de la citada red de observación, ésta podría ampliarse o modificarse convenientemente.

#### 8.11.1.- Evolución de niveles piezométricos en áreas de recarga de aguas subterráneas

En la Fig.8.8 A y B se muestra el hidrograma obtenido en los pozos de observación 603-7-1 y 602-8-2.

- El pozo 603-7-1, cuya situación puede observarse en el plano 9.6 está próximo a la divisoria hidrográfica del Alberche; está emplazado pues en un área de recarga (ver plano 5.4); se piensa que casi toda la entubación (92 metros) es filtrante (tubería ranurada con soplete). El nivel estático oscila sobre los 11 metros de profundidad.

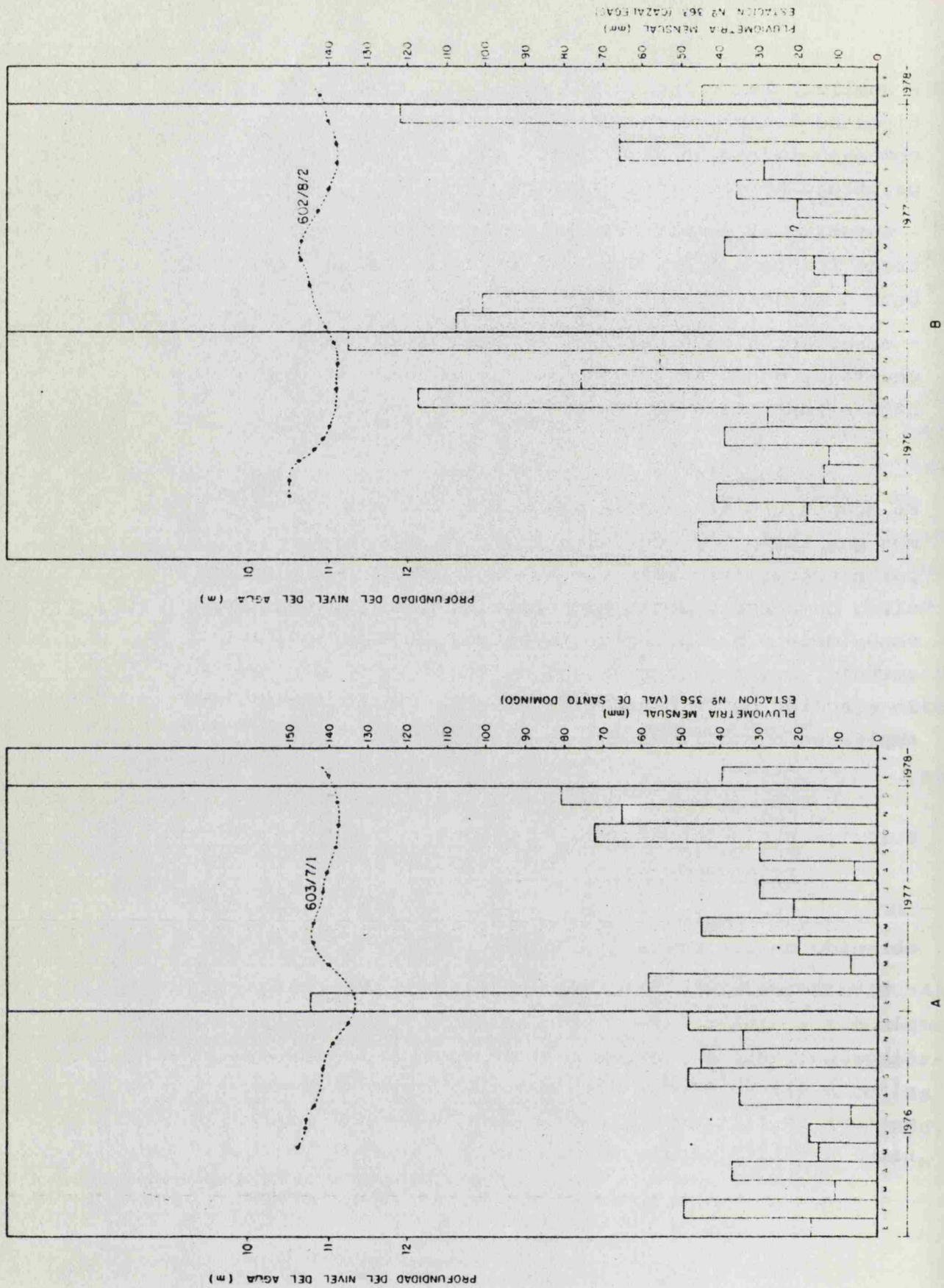


Fig. 8-8.- VARIACION DEL NIVEL PIEZOMETRICO EN DOS POZOS EMPLAZADOS EN AREAS DE RECARGA DE AGUAS SUBTERRANEAS.

## 325

- El pozo 602-8-2 (ver situación en el plano 9.5) se dispone sobre un área de recarga local (ver planos 5.6 y 5.9). El nivel del agua se sitúa entre 10 y 11 metros de profundidad; de los 75 metros de entubación, 45 están ranurados (del metro 27 al 75, tubería ranurada con soplete).

Los hidrogramas de la figura 8.8 se han construido con las observaciones afectuadas desde los meses de Abril-Mayo de 1.976 hasta el mes de Enero de 1.978; en esa misma figura y en forma de histograma, se representan las precipitaciones mensuales habidas en ese mismo período de tiempo, medidas en sendas estaciones pluviométricas muy próximas a los puntos de observación :

- Además de un ligero cariz descendente del nivel del agua -a pesar de que en las zonas aludidas no se producen bombeos importantes por el momento- parece observarse una cierta afección de las precipitaciones, aunque con una apreciable histéresis. En efecto, el máximo de precipitación acaecido en diciembre de 1.976 se refleja en ambos casos en un nivel máximo en los meses de Abril-Mayo de 1.977; nuevamente en diciembre de 1.977 se registra el máximo de precipitación mensual, intuyéndose un comportamiento semejante en el nivel del agua.

X X X X X

En los hidrogramas de la Fig.8.9, correspondientes a los pozos 580-3-4 y 580-6-3, emplazados en la margen derecha del Alberche, entre el thalweg del río y el macizo cristalino, parece también identificarse una influencia de las precipitaciones en la evolución del nivel del agua, más acusada en el caso del pozo 580-6-3. No se observa por el contrario el ligero sesgo descen-



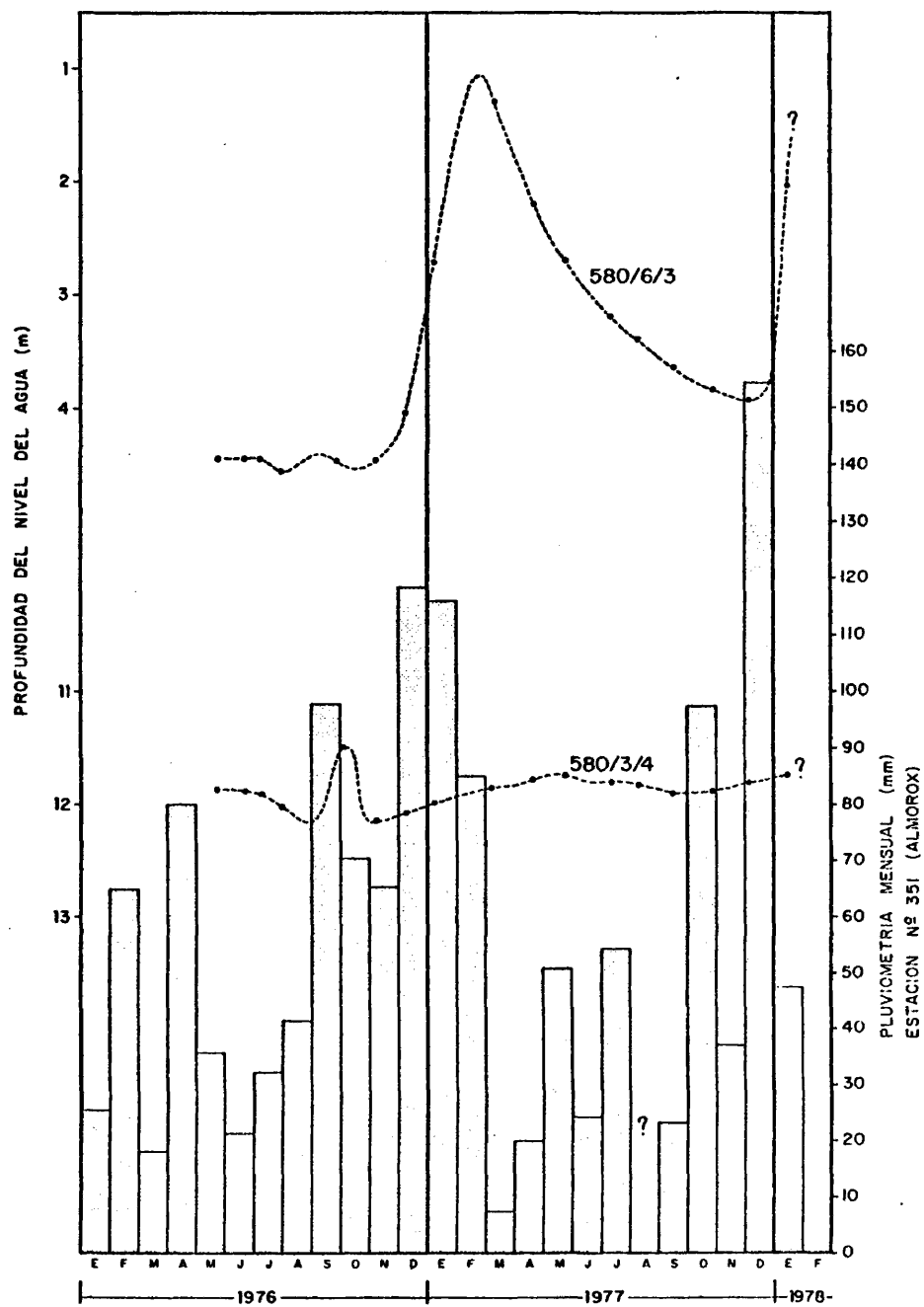


Fig. 8-9.- HIDROGRAMAS OBTENIDOS EN LOS POZOS  
580/3/4 Y 580/6/3

dente del caso anterior.

- El pozo 580-6-3 (ver situación en el plano 9.3) es un pozo profundo emplazado sobre la superficie morfológica originada por la terraza alta del Alberche (ver Fig.3.33). Cobra sentido aquella observación que en el apartado 3.3.3.5.3. hacíamos sobre el papel que dichas superficies jugaban en cuanto a retener y facilitar la infiltración del agua de las precipitaciones : el citado pozo presenta uno de los dos tramos filtrantes de que consta a poca profundidad, entre 5 y 8 metros, y de ahí que refleje con tanta claridad el máximo de precipitación registrado en los meses de diciembre (1.976)-enero (1.977).

- El nivel del agua del pozo 580-3-4 (ver situación en el plano 9.3) muestra una oscilación mucho más amortiguada y además con una mayor histéresis. Realmente su área de emplazamiento responde con menos claridad al carácter de zona de recarga de aguas subterráneas que en el caso anterior.

#### 8.11.2.- Evolución de niveles piezométricos en un área de bombeo concentrado de aguas subterráneas

Al norte del pueblo de Villanueva de Perales (ver plano 9.2) se localiza una pequeña área de tan solo unos 3 Km<sup>2</sup> en la que están ubicados un buen número de pozos profundos que explotan los recursos hidráulicos de la unidad terciaria. Desde el punto de vista hidráulico, se trata de una zona de transición ("mid-line"), es decir, de flujo horizontal. El agua subterránea bombeada se utiliza fundamentalmente para regadío.

El pozo 558-6-30, cuyo hidrograma se recoge en la figura 8.10, es un pozo de 133 metros de profundi-

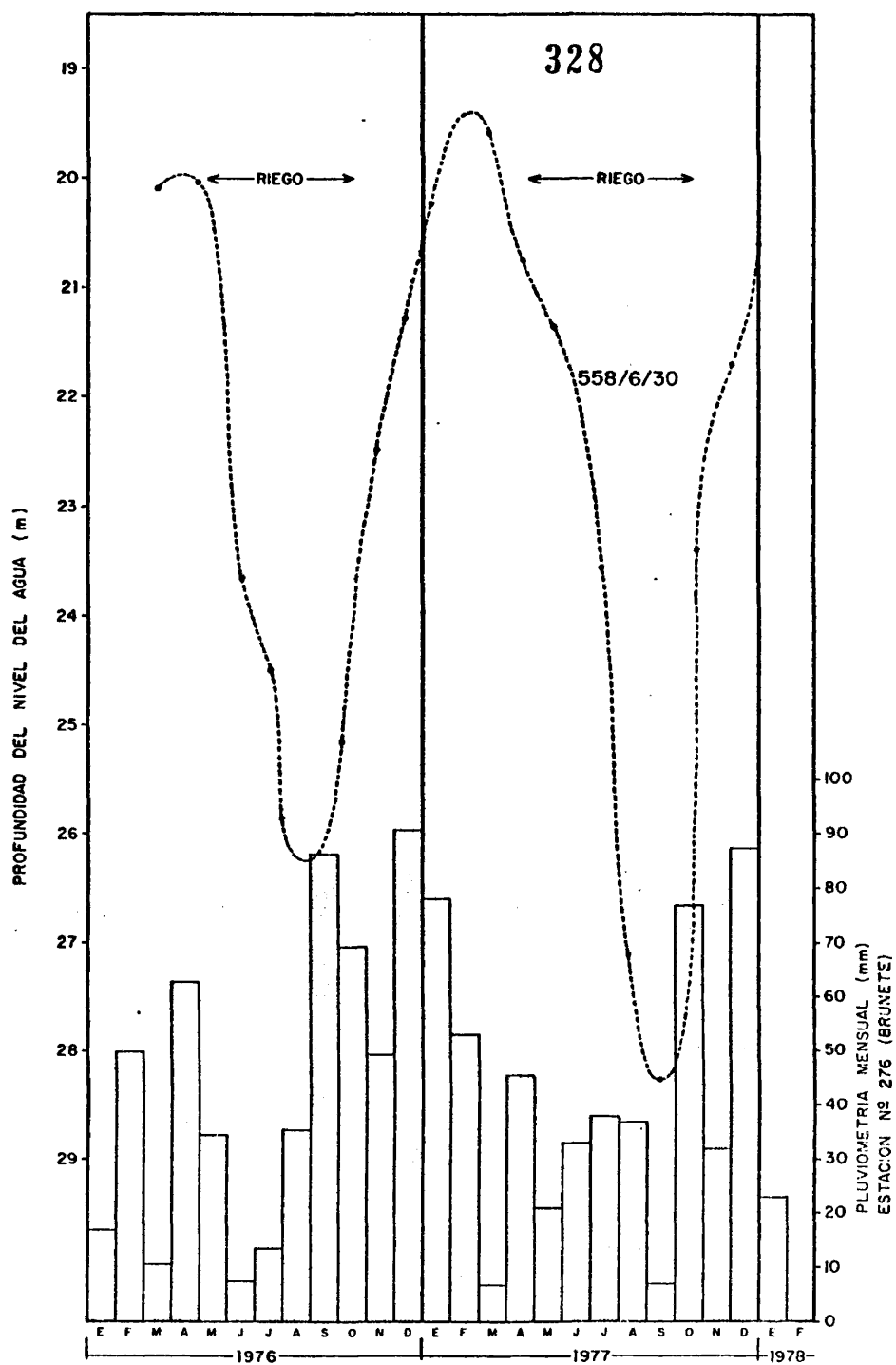


Fig. 8-10.- OSCILACION DEL NIVEL PIEZOMETRICO EN UN POZO EMPLAZADO EN UN AREA DE BOMBEO CONCENTRADO DE AGUAS SUBTERRANEAS CON FINES FUNDAMENTALMENTE AGRICOLAS

dad, de los que 60 metros son filtrantes, uniformemente distribuidos en tramos de 6 metros a lo largo de todo el pozo desde prácticamente la superficie. El nivel estático se sitúa, en la época en que no hay riegos, sobre los 20 metros de profundidad. Hay que añadir que la descarga producida por el propio punto de observación es de pequeña magnitud y -lo que es más importante- prácticamente constante durante todo el año.

En el hidrograma de la figura 8.10 puede observarse como desde los meses de Abril-Mayo, época en que se inicia la temporada de riegos, el nivel del agua comienza a descender sistemáticamente alcanzando un mínimo en el período Agosto-Septiembre; a partir de ese momento la extracción de agua subterránea decrece, quedando perfectamente reflejado en el hidrograma. La oscilación del nivel de agua fue de unos 6 metros en 1.976 y unos 8 metros en 1.977, por lo que puede concluirse en una tendencia descendente; dado que en el área se siguen construyendo captaciones, es de esperar que la oscilación tienda a aumentar, aunque evidentemente el volumen de agua extraída dependerá de la marcha de los cultivos en función de las precipitaciones.

Es de resaltar como el mínimo aludido se produce antes que en los hidrogramas de las figuras 8.8 y 8.9 : allí se producía en los meses octubre-noviembrediciembre; aquí, por las razones ya comentadas, se produce algo antes en el período agosto-septiembre.

También parece observarse una cierta influencia de las precipitaciones como lo demuestran los más altos niveles en marzo de 1.977 respecto al mismo mes del año anterior, lo que coincidiría con una acusada mayor pluviosidad en los meses de diciembre de 1.976 y ene

ro y febrero de 1.977 respecto al mismo período del año anterior.

8.11.3.- Evolución de niveles piezométricos en el área de confluencia Alberche-Tajo.

El establecimiento de la muy completa red de observación en esta zona (7 puntos de medida) obedeció a la presunción -desde los primeros momentos del trabajo- de que algunos pozos y sondeos habían interesado un sistema de flujo profundo. Los comentarios que a continuación se hacen de los hidrogramas de la figura 8.11 deben ser seguidos con el perfil hidrogeológico del plano 5.9 (perfil hidrogeológico Carmena - El Bravo - confluencia Tajo-Alberche).

En la figura 8.11 (A) pueden observarse en primer lugar los hidrogramas obtenidos en los sondeos 602-8-18, 602-8-19 y 602-8-20; como ya se ha comentado en el apartado 8.10 de este mismo capítulo, son tres piezómetros "perfectos" contruidos por el S.G.O.P., cuya, solo en principio, extraña disposición de niveles fue aclarada en aquel mismo apartado. Hay que añadir que en las proximidades no hay prácticamente extracción de agua subterránea por bombeo :

- El sondeo 602-8-20, de 56 metros de profundidad y ranurado desde el metro 41 al 56, acusa con claridad en los meses de Febrero-Marzo de 1.977 el máximo de pluviosidad mensual registrado, en las dos temporadas de mediciones, en torno al mes de diciembre. Ello coincide con la representación del plano 5.9, en que dicho sondeo intercepta un flujo estrictamente local de agua subterránea.

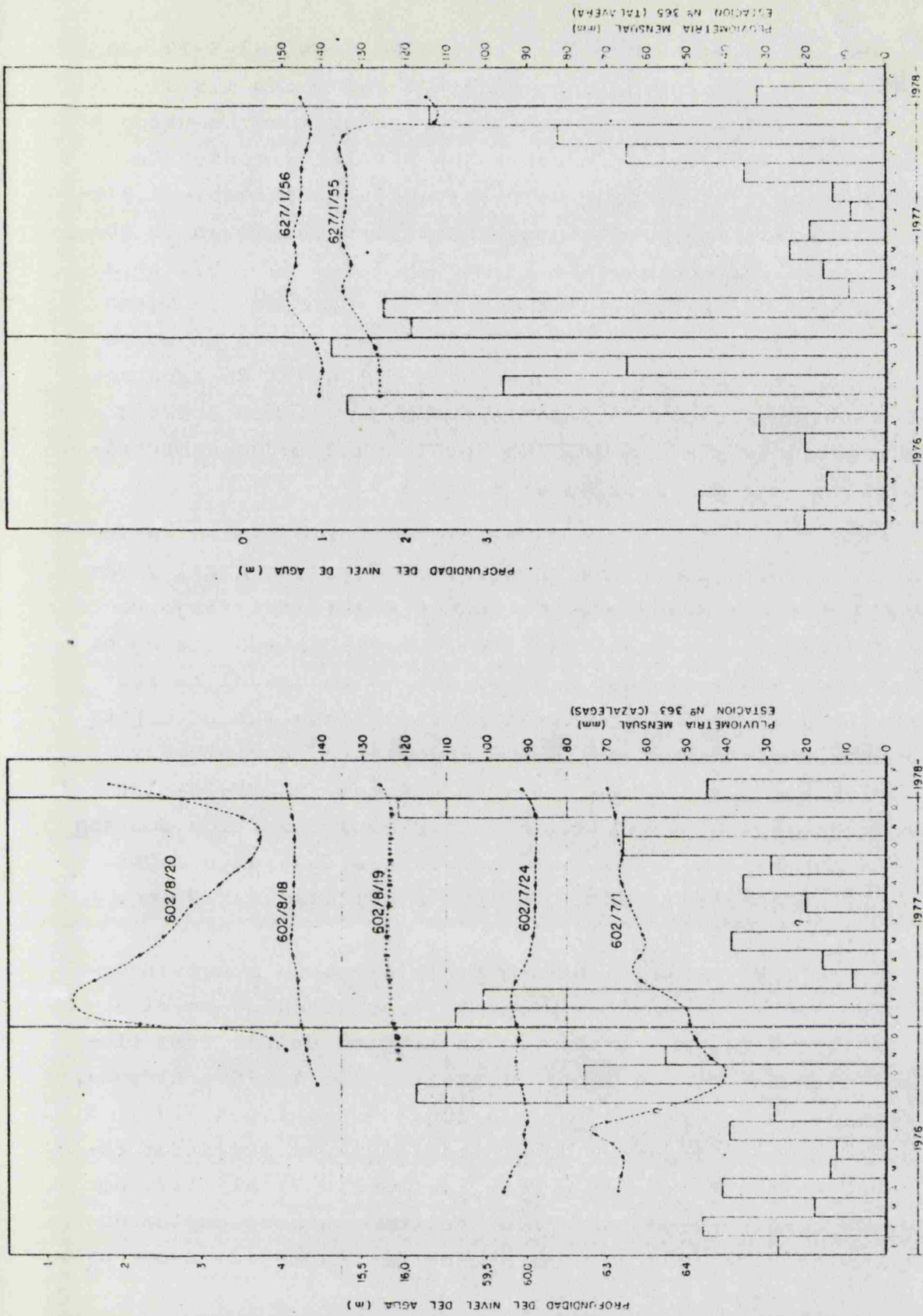


Fig. 8-11.- EVOLUCION DE NIVELES PIEZOMETRICOS EN EL AREA DE CONFLUENCIA ALBERCHE - TAJO

- Los hidrogramas obtenidos en los sondeos 602-8-19 -de 125 metros de profundidad, ranurado del metro 115 al 125- y 602-8-20 -de 186 metros de profundidad ranurado del metro 160 al 176- muestran un nivel muy constante durante todo el período de observación (Septiembre 1.976-Enero 1.978). Solo se intuye un ligero máximo en la observación correspondiente al mes de Abril de 1.977 para el sondeo 602-8-19 y en la del mes de Mayo de ese mismo año para el sondeo 602-8-18, seguidos ambos de un suave período de recesión. La constancia del nivel de agua sería congruente con la suposición de que dichos sondeos interesan un sistema de flujo profundo de agua subterránea, como se mostraba en el plano 5.9.

- El desplazamiento del nivel piezométrico máximo desde los meses de Febrero-Marzo de 1.977 a los de Abril y Mayo sería también congruente con el modelo del flujo de las aguas subterráneas. Aunque la serie de medidas no es suficientemente larga, creemos que no es casual la respuesta del nivel de los tres piezómetros a las precipitaciones acaecidas en los meses de octubre, noviembre y diciembre de 1.977 : el más superficial (602-8-20) las refleja rápida y acusadamente de nuevo; los otros dos sondeos las acusan con mucha menos intensidad, algo mayor en el piezómetro intermedio (602-8-19) como es lógico.

En la misma figura 8.11 (A) puede observarse la secuencia de niveles piezométricos obtenida en el pozo 602-7-24, más larga que en el caso de los tres piezómetros anteriores (Abril 1.976 - Enero 1.978). El pozo, situado en un área de recarga local (ver planos 5.9 y 9.8), tiene 111 metros de profundidad; por presentar ranurados los últimos 40 metros (del metro 71 al 111), no puede considerarse estrictamente como un pozo emplazado en un área de recarga sino que en cierta medida debe cap

333

tar una cierta proporción de líneas de corriente de sistemas de flujo más profundos : corrobora esto la presencia de aguas salobres en el fondo del propio pozo (ver Fig.8.7). Por último hay que decir que la captación no se utiliza ni hay bombeos próximos en el área :

- El nivel piezométrico refleja de nuevo, aunque muy suavemente, la influencia de las precipitaciones : así las del mes de septiembre de 1.976 se reflejan en el pequeño máximo del mes de noviembre; después, las lluvias registradas en diciembre de 1.976 y enero-febrero de 1.977 se reflejan en marzo en el nivel del agua; tras la recesión subsiguiente, las lluvias acaecidas en los meses de octubre, noviembre y -sobre todo- diciembre de 1.977 son reflejadas en la medición del mes de enero de 1.978.

La suavidad y la amplitud de las oscilaciones están lejos de las del piezómetro 602-8-20, lo que concuerda con la suposición de que el pozo alcanza líneas de corriente de un sistema de flujo más profundo.

Las características del pozo 602-7-1, próximo al 602-7-24, son muy semejantes a las de aquél; la captación no se utiliza, pero -a diferencia de antes- en las proximidades se producen extracciones de aguas subterráneas que podrían ser las causantes del un tanto extraño hidrograma obtenido : la baja pluviometría del invierno y primavera de 1.976 originaría unas mayores extracciones de agua subterránea en la zona, que se traducirían en el acusado mínimo del mes de octubre de 1.976; después las altas precipitaciones de los meses de septiembre de 1.976 a febrero de 1.977 originarían una recuperación de los niveles que, con alguna ligera oscilación, se mantendrían hasta la nueva etapa de recarga

X X X X X



## 334

En la figura 8.11 (B) se muestran dos hidrogramas obtenidos en los sondeos 627-1-55 y 627-1-56, que se comportan también como piezómetros "perfectos"; el primero tiene una profundidad de 205 metros y está ranurado del metro 185 al 200; la profundidad del segundo es menor, 126 metros, y está ranurado del metro 110 al 125 aproximadamente; ambos están muy próximos (ver plano 9.8) y emplazados en la llanura aluvial, aguas arriba de Talavera de La Reina.

En ambos piezómetros parece deducirse del nivel piezométrico máximo observado en el mes de marzo de ese mismo año, una clara influencia de la época lluviosa diciembre 1.976 - enero y febrero 1.977, máximo que parece ser ligeramente más acusado en el menos profundo (627-1-56), como es lógico : en ese mismo punto puede observarse seguidamente una recesión en el nivel del agua que no se observa con claridad en el más profundo (627-1-55); nuevamente se observa una tendencia al ascenso en aquél a partir de las mediciones de diciembre de 1.977 y enero de 1.978. El brusco descenso del nivel piezométrico observado a partir del mes de diciembre de 1.977 en el sondeo 627-1-55 se produjo tras un bombeo del propio sondeo con aire comprimido.

CAPITULO 9

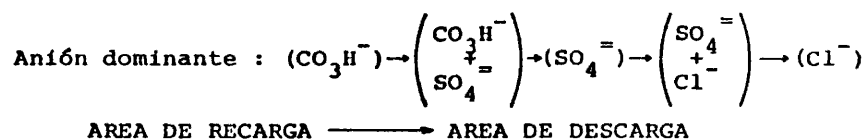
ESTUDIO DE LA DISTRIBUCION DE LAS PROPIEDADES  
FISICO-QUIMICAS DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

## 9.- ESTUDIO DE LA DISTRIBUCION DE LAS PROPIEDADES FISI-CO-QUIMICAS DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

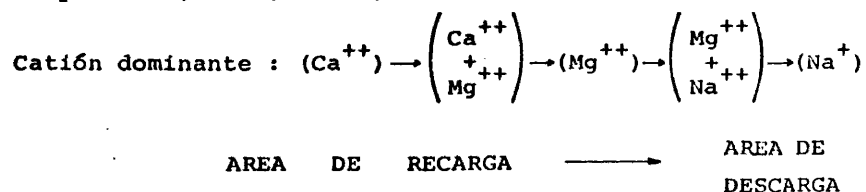
### 9.1.- INTRODUCCION.

El modelo del flujo de las aguas subterráneas en una determinada cuenca de drenaje puede también establecerse a partir del análisis de la distribución de las propiedades físicas y químicas de las aguas subterráneas. En este capítulo se aborda el estudio del movimiento del agua subterránea a través de los materiales terciarios de nuestra región de estudio a partir de los datos contenidos en los análisis físico-químicos de muestras de aguas subterráneas tomadas en determinados pozos, sondeos y manantiales inventariados previamente.

Como se sabe, Chebotarev, I.I. (1.955) determinó que la distribución espacial de muestras de aguas subterráneas clasificadas por su anión dominante era función de la dirección y distancia del flujo de aquéllas, de forma que podía pensarse en la sucesión siguiente :



Paralelamente, una sucesión semejante puede escribirse para los cationes (Custodio, E., en Custodio, E. y Llamas, M.R., 1.976):



No obstante ambas sucesiones no son homólogas, es decir, que al estadio de predominio del anión ( $\text{SO}_4^{=}$ ) no tiene por qué corresponderle en los cationes el predominio del ( $\text{Mg}^{++}$ ). Esto es lógico si se piensa en la diferente composición inicial así como en los distintos fenómenos modificadores que pueden afectar a unos y otros iones.

X X X X X

Los datos de partida son fundamentalmente 93 análisis físico-químicos completos de muestras de aguas subterráneas tomadas en sondeos, manantiales y -sobre to do- en pozos que explotan los recursos hidráulicos de los materiales terciarios y cuaternarios (Anejo V).

Una parte de esos análisis han sido suministrados por los propietarios o usuarios de las captaciones; otra -la más numerosa- es fruto de la estrecha colaboración mantenida, a lo largo de la realización de este estudio, con el Servicio Geológico de Obras Públicas. Se dispone también de un buen número de determinaciones "in situ" de dureza y conductividad eléctrica realizadas por nosotros mismos mediante un laboratorio portátil.

La metodología que hemos seguido puede resumir se como sigue :

- Hemos utilizado en primer lugar diagramas triangulares para caracterizar diferentes tipos químicos de aguas subterráneas, así como para definir algunos fenómenos modificadores; con la finalidad de lograr una mayor claridad, hemos dividido la zona de estudio, de NE a SW, en cuatro sectores perpendiculares al curso del Alberche, englobando cada uno de ellos a uno o varios de los perfiles hi-

drogeológicos transversales que presentamos (planos 5.1 a 5.9) así como al conjunto de análisis químicos que de cada uno de esos sectores se poseían, que se han representado en un diagrama triangular por separado.

Con el fin de estudiar globalmente la evolución geoquímica de las aguas subterráneas desde las áreas de recarga a las de descarga, hemos trazado la distribución espacial de algunas características físico-químicas -dureza y conductividad- así como el de algunas relaciones iónicas tales como el índice de desequilibrio - (IDD) - un índice catiónico  $-r (Na^+ + K^+) / r (Ca^{++} + Mg^{++})-$  y un índice aniónico  $-r (Cl^- + SO_4^{=}) / r (CO_3H^-)-$ . Asimismo se han representado en un sistema de ejes coordenados cartesianos pares de estas propiedades físico-químicas y relaciones iónicas.

#### 9.2.- CARACTERIZACION DE TIPOS DE AGUAS Y DE FENOMENOS MODIFICADORES MEDIANTE LA UTILIZACION DE DIAGRAMAS TRIANGULARES.

Es sabido que la representación de los análisis químicos de aguas subterráneas en diagramas triangulares permite la agrupación de aguas geoquímicamente similares en áreas bien definidas (Custodio, E. en Custodio, E. y Llamas, M.R., 1.976); asimismo las mezclas de aguas, precipitaciones, disoluciones, modificaciones, etc., quedan fácilmente reflejadas. Los diagramas triangulares de más frecuente uso son los de Piper (Hill-Langelier), que son los que utilizaremos en este trabajo.

A pesar de que estos gráficos permiten representar un elevado número de análisis sin crear confusión, nosotros hemos optado -tal como anunciábamos en el apartado anterior- por dividir nuestra región de estudio en

cuatro sectores paralelos entre sí pero transversales al curso del Alberche, es decir, a la dirección NE-SW : de este modo, en el diagrama de Piper de la Fig.9.1 se representan los análisis químicos de muestras de aguas tomadas en pozos asociados o próximos al trazado del perfil hidrogeológico del plano 5.1; en el diagrama de Piper de la Fig.9.3 se representan las muestras tomadas en pozos englobados en el trazado del perfil hidrogeológico del plano 5.2 o próximos a él; sucesivamente, en los diagramas de las Figs.9.4 y 9.6 se recogen las muestras asociadas a los perfiles hidrogeológicos de los planos 5.3, 5.4 y 5.5 y a las de los planos 5.6 y 5.7, respectivamente.

9.2.1.- El sector nor-oriental de la región de estudio (área Sevilla La Nueva - Villanueva de la Cañada - río Perales).

Como ya hemos dicho, corresponde -en sentido amplio- al trazado del perfil hidrogeológico del plano 5.1. Disponemos de doce análisis químicos de aguas subterráneas en esta región : seis proceden de pozos situados en zona de interfluvio, cuatro de pozos en área de flujo lateral y dos en área de descarga de aguas subterráneas. La representación de esos análisis en un diagrama de Piper se muestra en la Fig.9.1 :

- Analizando el triángulo de los cationes parece observarse en primer lugar un ligero intercambio de Mg por Ca conforme progresa el flujo descendente del agua subterránea en zona de interfluvio; así lo denotan los análisis 1 y 2 correspondientes a pozos muy próximos entre sí pero mucho más profundo el segundo; la misma situación se repite entre los análisis 8 y 12.

Fig.9.1.: Análisis químicos de las aguas subterráneas del sector nor-oriental de la región de estudio.

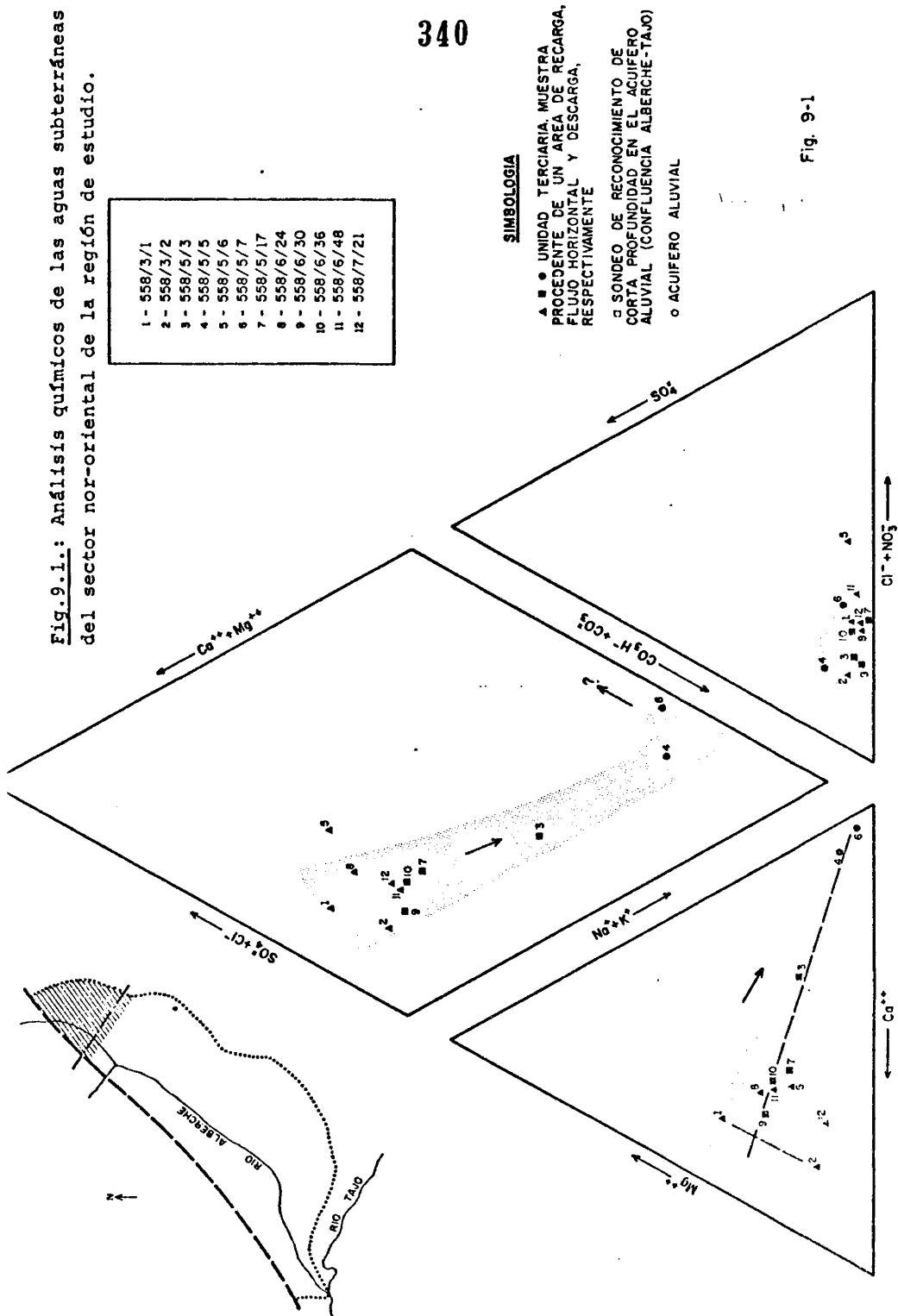


Fig. 9-1

Sin embargo el efecto más acusado es el intercambio iónico de Mg y Ca por Na; en efecto, los análisis 3 y 7, correspondientes a pozos emplazados en áreas de transición ("mid-line") (ver apartado 8.2 y plano 5.1) ya indican una evolución geoquímica en ese sentido. Finalmente, en los análisis 4 y 6, correspondientes a pozos emplazados en áreas de descarga, el porcentaje de Na está próximo e incluso supera el 90%.

- Contrariamente, analizando el triángulo de los aniones, apenas se advierte evolución geoquímica en la estructura aniónica desde las áreas de interfluvio a las de valle. Todos los puntos tienden a quedar agrupados salvo el punto 5, un punto anómalo que posiblemente sea reflejo de contaminación, en la que incidiría la explotación agropecuaria en la que está emplazado a la vez que una deficiente protección sanitaria del pozo propiamente dicho.

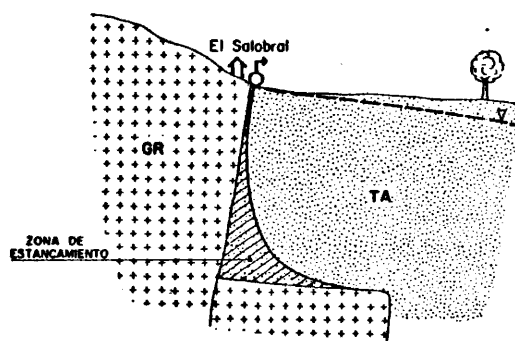
- Analizando ambos diagramas conjuntamente mediante el rombo central, queda claramente manifestado el intercambio de  $Mg^{++} + Ca^{++}$  por  $Na^{+}$ ; el ablandamiento sufrido por el agua subterránea desde el interfluvio al thalweg se manifiesta también comprobando el aumento de pH que dicho ablandamiento lleva consigo (Anejo V). Asimismo, la diferente representación de los puntos 4 y 6 nos hace intuir una ligera evolución aniónica en el sentido de perder relevancia el anión ( $CO_3H^{-}$ ) en favor del conjunto ( $SO_4^{=} + Cl^{-}$ ), tal como sugerimos en la Fig.9.1.

X X X X X

El manantial salino de la finca El Salobral -el nombre de la finca deriva de la existencia de dicho manantial- (ver plano 5.1) es en realidad una zona de re



zume. Extrañamente fué ignorado en el reconocimiento hidrogeológico realizado en esta zona de la provincia de Madrid a principios de siglo (Bentabol, H., 1.906). Galvez, A. y Jordana, L. (1.941) piensan que "... pudiera proceder de la descomposición de la sodalita contenida en las masas graníticas". Nuestra opinión es que esta zona de rezume podría representar una zona de estancamiento de aguas subterráneas ("efecto de pared") asociada al contacto por falla inversa de los materiales terciarios antiguos con la unidad granítica, tal como sugerimos en la Fig.9.2 :



**Fig.9.2.:** Justificación del manantial salino de El Salobral.

Este tipo de zonas de estancamiento deben ser frecuentes a lo largo de todo el contacto entre los materiales terciarios y los materiales cristalinos de nuestra región de estudio; no así, la manifestación en superficie de forma espontánea como en el caso de El Salobral, que es el único que conocemos.

9.2.2.- El sector Navalcarnero - Aldea del Fresno - Villa del Prado - Valmojado.

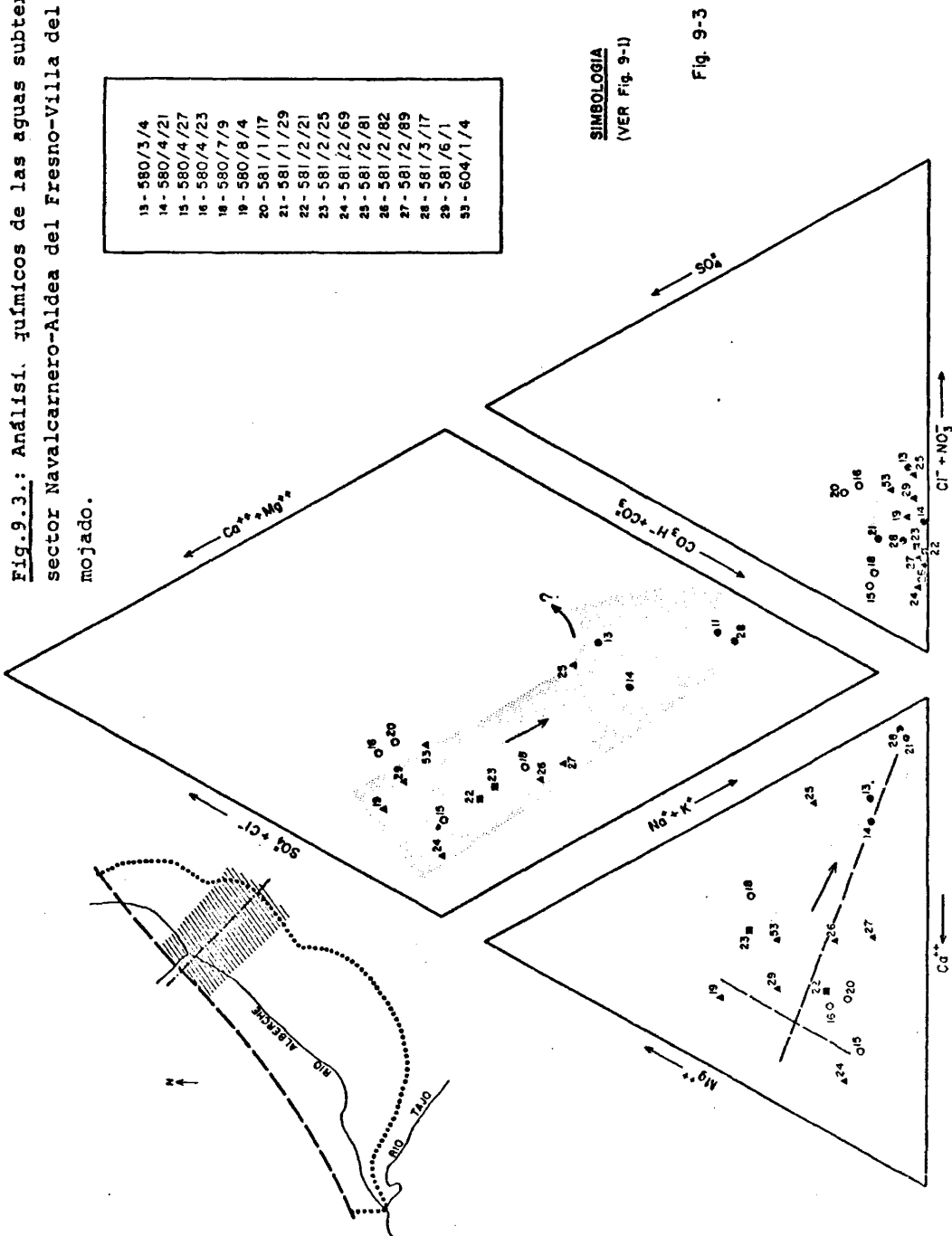
Es el sector correspondiente al trazado del perfil hidrogeológico del plano 5.2. En el diagrama de Piper de la Fig. 9.3 se representan 17 análisis químicos de aguas subterráneas, de los que 7 corresponden a zonas de interfluvio, solo 2 a áreas de flujo horizontal y 4 a áreas de flujo ascendente de agua subterránea; el resto son análisis de muestras tomadas en pozos que explotan los depósitos aluviales actuales.

- Analizando el diagrama de cationes, parece observarse también un posible intercambio de Mg por Ca conforme aumenta -en zona de interfluvio- la profundidad del pozo donde la muestra se ha tomado, es decir, conforme progresa el flujo descendente de agua subterránea; así los análisis 19, 29 y 53 corresponden a pozos bastante más profundos que el que ha proporcionado la muestra del análisis 24, aunque todos ellos están próximos entre sí y emplazados junto a la divisoria Alberche-Guadarrama.

Las muestras 25, 26 y 27 -en particular la primera- adoptan una posición un tanto anómala en el diagrama triangular; corresponden a tres pozos muy próximos con una profundidad comprendida entre 250 y 430 mts. Este factor unido a su situación sobre el "umbral de Navalcarnero" (Ver plano nº2) podría explicar la especial disposición de estos tres puntos; es precisamente el punto más "anómalo" -el análisis 25- el que corresponde al pozo de mayor profundidad (430 m.).

Los pozos situados en áreas de descarga de aguas subterráneas reflejan también aquí un acusado intercambio iónico de Ca y Mg por Na : es el caso de los análisis 13, 14, 21 y 28.

Fig.9.3.: Análisis químico de las aguas subterráneas del sector Navalcarnero-Aldea del Fresno-Villa del Prado-Valmojado.



Las muestras de agua procedentes del acuífero aluvial no muestran en esta zona ninguna relación con la evolución geoquímica de las aguas subterráneas en la unidad terciaria.

- El diagrama de aniones muestra una agrupación muy semejante a la del caso anterior; no se observa una clara evolución geoquímica en la estructura aniónica desde el área de recarga a la de descarga. Asimismo, las aguas del acuífero aluvial se dispersan alrededor de la agrupación comentada.

- La interpretación conjunta de ambos diagramas apenas dice nada nuevo respecto a lo comentado en el apartado anterior : una clara evolución catiónica hacia un ablandamiento del agua desde las zonas de recarga hacia las de descarga, mientras que la evolución aniónica solo se intuye levemente merced a la disposición de los puntos representativos de los análisis 13 y 25.

#### 9.2.3.- El sector Santa Cruz del Retamar - Escalona - Casar de Escalona - La Mata.

Es la más amplia de las cuatro zonas que se han considerado, con forma de sector circular originada por la disposición ya comentada de la divisoria de aguas superficiales del Alberche con el Guadarrama primero y con el propio Tajo después. Engloba al trazado de los perfiles hidrogeológicos de los planos 5.3, 5.4 y 5.5 así como el tramo más meridional (izquierda del dibujo) del perfil hidrogeológico del plano 5.8.

En el diagrama de Piper de la Fig.9.4 se representan un total de 25 análisis de aguas subterráneas de los que 7 proceden de áreas con flujo descendente,

Fig.9.4.: Análisis químicos de las aguas subterráneas del sector Santa Cruz del Retamar-Escalona-Casar de Escalona-La Mata.

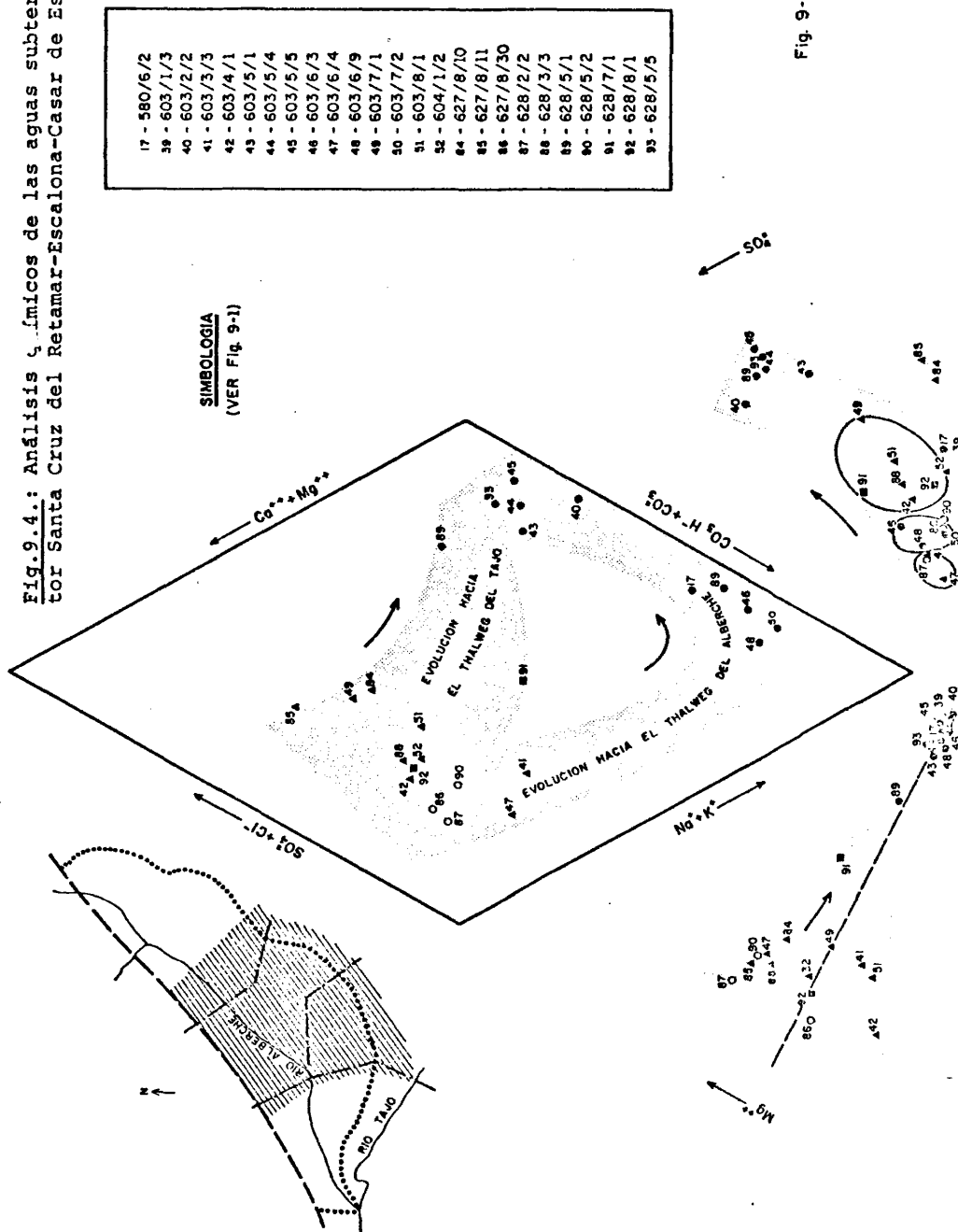


Fig. 9-4

solo dos con flujo lateral y 11 con flujo ascendente de las aguas subterráneas; además 2 análisis de aguas de la unidad terciaria -los números 84 y 85- no deben considerarse -aunque los hemos representado- por quedar al go al sur de la zona de estudio, en los alrededores de San Martín de Pusa, próximos al contacto con el macizo de Montes de Toledo (ver plano 9.8); tres análisis más corresponden a aguas de los depósitos aluviales actuales.

Finalmente, antes de pasar a comentar el diagrama de la figura mencionada, diremos que a diferencia de los dos casos anteriores, en que sólo se analizaba la evolución desde el interfluvio al thalweg del río Alberche, aquí comentaremos además la evolución desde dicho interfluvio al thalweg del Tajo.

- En el diagrama de cationes se observa como el intercambio de Mg y Ca por Na se produce tanto hacia el thalweg del Tajo -análisis 91, 89 y 93- como hacia el del Alberche -análisis 17, 39, 40, 43, 44, 45, 46, 48 y 50-; es desde luego más acusado hacia este último, donde el fenómeno llega a su situación límite, alcanzándose porcentajes de Na de más del 95% respecto a los otros dos cationes.

- En el diagrama de aniones se observan varios fenómenos distintos : en primer lugar la sucesión inmediata entre los análisis 41 y 47 (área de recarga) y 46, 48 y 50 (área de descarga de Maqueda; ver plano 5.4) nos hace pensar que las líneas de flujo captadas por los pozos a los que estas muestras corresponden tengan su origen en las áreas donde los pozos que han proporcionado las muestras 41 y 47 están emplazados, dada su proximidad geográfica. En segundo lugar, la superior proporción de los aniones sulfato y cloruro frente al bicarbonato en los análisis 42, 49, 51, 52, 88, 91 y 92, correspondien-

tes a pozos emplazados en zonas de divisoria o -todo lo más- de transición, se explica fácilmente si se tiene en cuenta que el interfluvio Alberche-Tajo, o Alberche-Guadarrama, coincide en esta zona con las áreas centrales de la cuenca de sedimentación terciaria, donde el contenido en sales solubles habrá crecido exponencialmente respecto al de los sectores marginales, lo cual debe quedar reflejado necesariamente en el contenido mineral en disolución de las aguas subterráneas.

En una tercera agrupación se mezclan análisis procedentes de pozos emplazados en áreas del fondo del valle del Alberche en el sector que estamos considerando (análisis 40, 43, 44 y 45) y del Tajo (análisis 89 y 93). En ambos casos se observa ya una clara evolución hacia el sulfato como anión dominante.

- En el rombo central hemos señalado en primer lugar la evolución hacia el thalweg del río Alberche, que pretendemos visualizar con ayuda de la Fig.9.5 : al igual que en casos anteriores, se produce un acusado intercambio iónico de Mg y Ca por Na, que se manifiesta ya en las primeras áreas de descarga locales (muestras 46, 48 y 50; área de descarga de Maqueda). Seguidamente se produce una evolución en la estructura aniónica en el sentido de ceder los bicarbonatos al carácter de anión dominante a los sulfatos, posiblemente favorecida por una mayor mineralización inicial de las aguas subterráneas en las áreas de recarga (muestras 42, 49, 51, 52, 88, 91 y 92) como consecuencia de un mayor contenido en sales solubles en este sector del interfluvio : el resultado serían las muestras 40, 43, 44 y 45.

Las muestras 17 y 39 corresponden a la margen derecha del río Alberche, entre el thalweg y el contacto

349

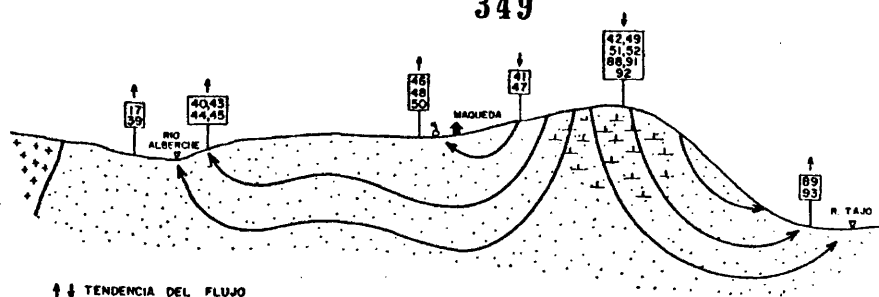


Fig.9.5.: Esquema de la evolución geoquímica de las aguas subterráneas del sector Santa Cruz del Retamar - Escalona - Casar de Escalona - La Mata.

con el macizo septentrional; como vimos en los apartados 8.4, 8.5 y 8.6 del capítulo anterior, la distribución de potencial hidráulico indica un bajo gradiente en ese área, originado fundamentalmente por el carácter de límite impermeable del contacto de la unidad terciaria con el macizo cristalino : el movimiento es por tan to lento; sin embargo, dada la proximidad de aquél, es muy probable que el contenido en sales solubles de estas facies terciarias de borde sea muy pequeño, por lo que, a pesar de la lentitud, no es posible una acusada evolución aniónica, teniendo solo importancia el intercambio catiónico.

La evolución hacia el thalweg del Tajo es con vergente con la anterior en su estadio final pero distinta de ella en sentido estricto. Recurriendo de nuevo a los perfiles hidrogeológicos de los planos 5.5 y 5.8 pueden observarse los elevados gradientes de potencial hidráulico entre el interfluvio Tajo-Alberche y el thalweg del primero (Fig.9.5); esto es absolutamente con cordante con los datos del quimismo de las aguas subterráneas en esta zona : el ablandamiento del agua, aún produciéndose, es algo menos acusado que en la evolución



hacia el Alberche, pero al contrario que allí, la evolución de la estructura aniónica, por mecanismos de puesta en solución, se realiza al mismo tiempo que aquél fenómeno modificador, debido al mayor contenido en sales solubles del sustrato.

9.2.4.- El sector sur-occidental de la región de estudio (área de confluencia Alberche-Tajo).

Esta última zona engloba el trazado de los perfiles hidrogeológicos de los planos 5.6, 5.7 y 5.9. En el diagrama de Piper de la Fig.9.6 se han representado un total de 41 análisis de muestras de agua : 21 corresponden a pozos emplazados en la unidad terciaria y 18 a sondeos y pozos de gran diámetro en el acuífero aluvial. Debemos advertir que se han representado de nuevo los análisis nº51 y 88 ya representados en el diagrama de la Fig.9.4; la justificación de esto se dará en los próximos párrafos. En cualquier caso conviene tener a la vista la Fig.9.7 para mejor entender las observaciones que a continuación se harán.

- En el diagrama de aniones pueden individualizarse dos grupos de muestras correspondientes a pozos emplazados en áreas de recarga : por un lado las muestras 51 y 88 y por otro las muestras 32, 34, 79, 81 y 83; las dos del primer grupo son de pozos perforados en aquella zona del interfluvio Alberche-Tajo coincidente con zonas axiales de la cuenca de sedimentación, donde el contenido en sales solubles de los materiales terciarios debía ser exponencialmente mayor que el de las zonas marginales; las del segundo grupo corresponden a áreas de recarga donde las facies mixtas han desaparecido (ver Fig. 9.7) y con ellas los altos contenidos en sales solubles del sustrato. Precisamente asociados a este segundo gru-

Fig.9.6.: Análisis químicos de las aguas subterráneas del sector sur-occidental de la región de estudio.

SIMBOLOGÍA  
(VER Fig. 9-1)

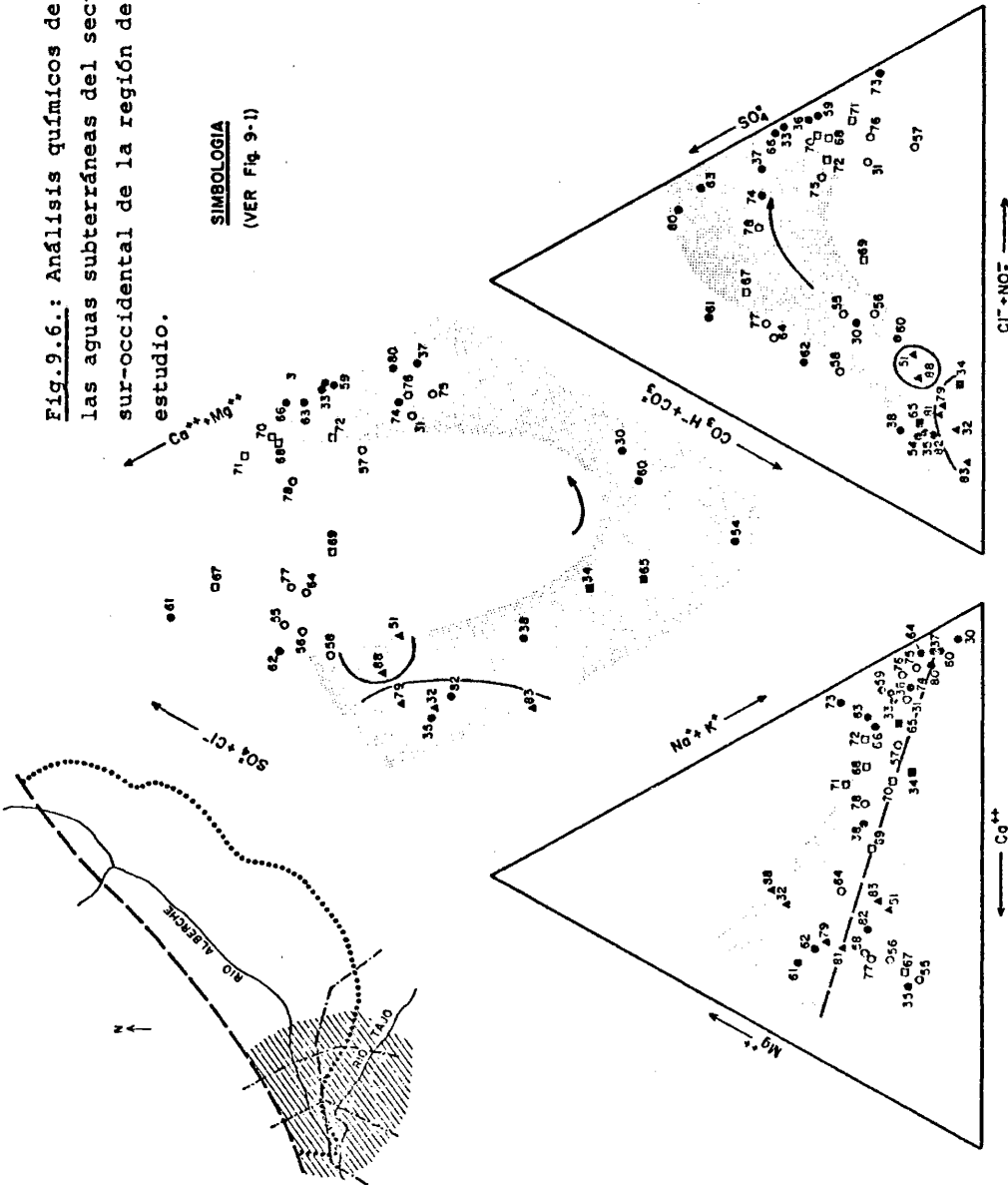


Fig. 9-6

- 31-603/8/1
- 34-626/4/15
- 35-627/1/5
- 36-627/1/20
- 37-627/1/26
- 38-627/1/54
- 39-627/1/55-A
- 40-627/1/56-A
- 41-627/1/57
- 42-627/1/58
- 43-627/2/6-F
- 44-627/2/11
- 45-627/2/20
- 46-627/2/30
- 47-627/2/49
- 48-627/2/57
- 49-627/2/61
- 50-627/2/78
- 51-627/2/79
- 52-627/2/80
- 53-627/2/81
- 54-627/3/18
- 55-627/3/24
- 56-627/3/25
- 57-627/3/32
- 58-627/3/37
- 59-627/3/45
- 60-627/3/46
- 61-627/4/4
- 62-627/4/5
- 63-627/4/15
- 64-602/4/1
- 65-602/6/17
- 66-602/7/1-A
- 67-602/7/1-B
- 68-602/8/1-A
- 69-602/8/14
- 70-602/8/18
- 71-602/8/19
- 72-602/8/20
- 73-628/3/3

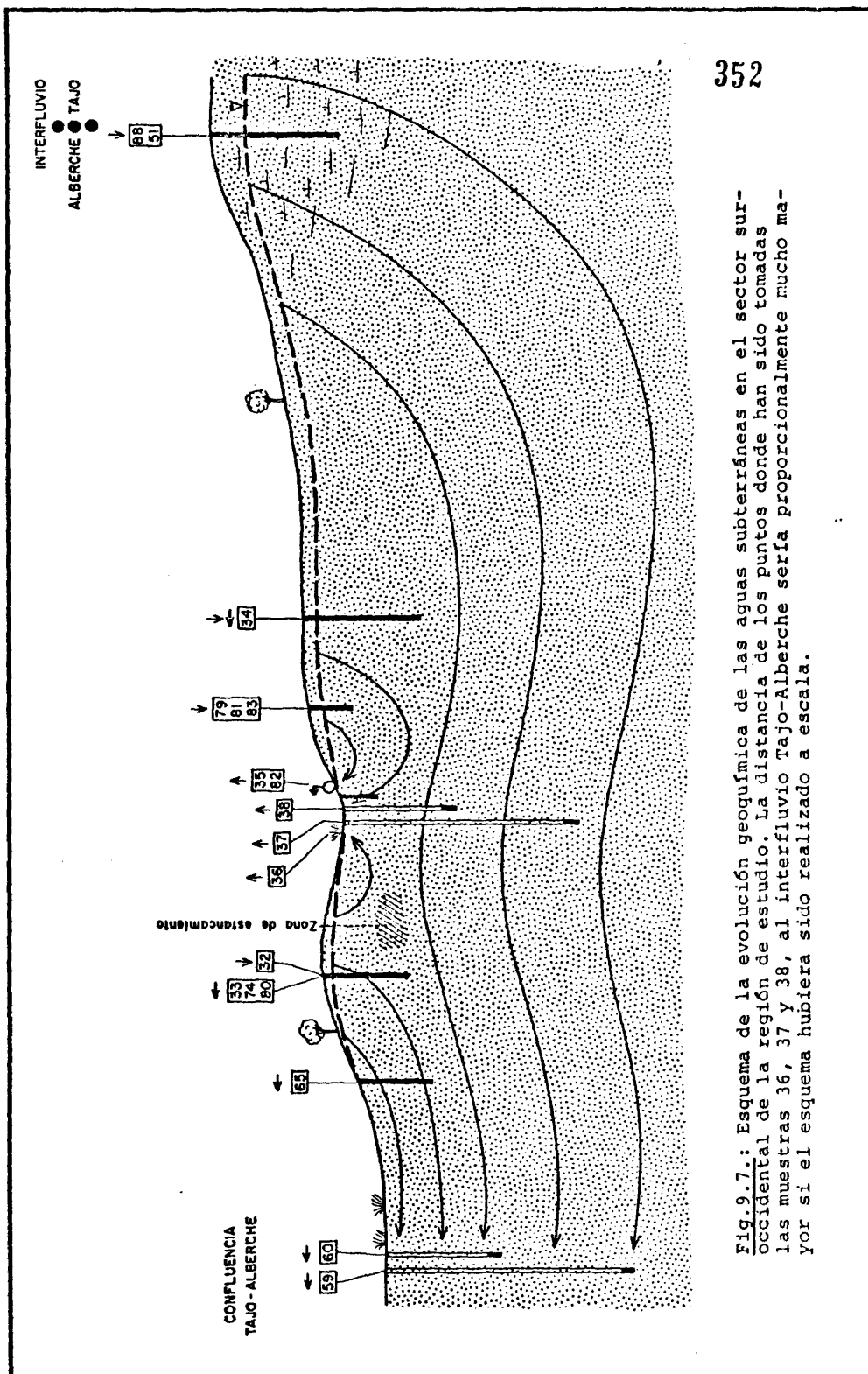


Fig.9.7.: Esquema de la evolución geoquímica de las aguas subterráneas en el sector sur-occidental de la región de estudio. La distancia de los puntos donde han sido tomadas las muestras 36, 37 y 38, al interfluvio Tajo-Alberche sería proporcionalmente mucho mayor si el esquema hubiera sido realizado a escala.

## 353

po aparecen las muestras 35, 38, 82 y 65, tomadas en puntos de descarga (35, 38, 82) o de flujo horizontal (65) muy próximos a aquéllos de recarga (ver Fig.9.7).

Se puede observar asimismo una mayor evolución en la estructura aniónica de las muestras : el anión sulfato, aún manteniéndose como dominante en las muestras 63 y 80, cede paso en ese carácter al anión cloruro. Este efecto es más nítido conforme la muestra corresponde a líneas de flujo más profundas y por tanto con un agua más evolucionada desde el punto de vista geoquímico : lo dicho se comprueba observando la sucesión 80, 63, 74, 37, 66, 33, 36, 59 y 73; las muestras 36 y 59 (ver Fig.9.7) proceden de dos sondeos (602-8-18 y 627-1-55) que captan las líneas de flujo más profundas : su porcentaje de cloruro -entre el 60 y 65%- solo es superado por el de la muestra 73, correspondiente al manantial de aguas salobres que mostramos en la Fig.9.8 (A y B).

El citado manantial está algo alejado de la sección representada en la Fig.9.7 y de ahí que no se recoga en ella la disposición ascendente de las líneas de flujo profundas que -en nuestra opinión- lo originan. Las precipitaciones de sal y la existencia de suelos salinos ya fueron mencionadas por Toth, J. (1.966) como un fenómeno de campo asociado a las áreas de descarga de aguas subterráneas.

- El diagrama de cationes presenta asimismo diferencias respecto al de los casos anteriores; la tendencia a la concentración de los puntos representativos de muestras de pozos emplazados en áreas de descarga, junto al vértice de 100% de Na, no se observa ya tan nítidamente. Precisamente las muestras 30 y 60, las más próximas a dicho vértice, muestran en el diagrama aniónico una limitada evolución.

En nuestra opinión, el diagrama nos está mostrando una recesión en el predominio del sodio respecto al de calcio y magnesio. Las muestras tomadas en las áreas de descarga de este último sector en que hemos dividido nuestra zona, con un elevado contenido salino, por serlo de aguas con una mayor evolución geoquímica, el inicial predominio del sodio sobre el calcio y magnesio debido a fenómenos de intercambio iónico tiende a borrarse ante el incremento del contenido en el agua de esos tres cationes, por ulteriores procesos de disolución.

- Queda finalmente por comentar la evolución global en el rombo central de la Fig.9.6, que en principio es muy semejante a la del sector anterior (Fig.9.4) con las dos únicas precisiones siguientes : ser más completa por disponerse de muestras de aguas más evolucionadas y perder sentido la doble evolución que allí considerábamos (thalweg del Tajo y thalweg del Alberche), por lo que debe hablarse en este sector de una evolución única hacia la región de menor potencial hidráulico, como es el área de confluencia Tajo-Alberche.

Al igual que en casos anteriores se observa en primer lugar el fenómeno del intercambio iónico : las muestras 79, 81, 88, 51 y 83, junto a las de los manantiales 35 y 82 evolucionan hacia un incremento del porcentaje de sodio en detrimento del de calcio y magnesio -muestras 38, 34, 65 y 54- (ver Fig.9.7) sin variar su estructura aniónica; la rapidez con que el intercambio iónico se produce queda patente una vez más.

Un estadio siguiente en la evolución geoquímica del agua subterránea es, al igual que en casos anteriores, el comienzo de la modificación de la inicial estruc-



A



B

Fig.9.8. (A y B) : Aspecto de una zona de rezume de aguas salobres en un área de descarga de aguas subterráneas; obsérvese la precipitación salina (B) y la flora de halofitas asociada (A y B). Alrededores de Talavera de La Reina (Toledo).

tura aniónica; tal estadio estaría representado por los puntos 30 y 60. El punto 30 corresponde a un pozo situado entre el thalweg del Alberche y el contacto con el macizo septentrional, por lo que le sería aplicable lo comentado en el apartado anterior para dos puntos -17 y 39- en semejantes condiciones.

Con cierta discontinuidad respecto al estadio anterior, originada por falta de análisis, el siguiente estadio es el representado por los puntos 37, 80 y 74 (ver Fig.9.7); modificándose sustancialmente la estructura aniónica en beneficio de sulfatos y cloruros -el porcentaje de bicarbonatos ha pasado de valores comprendidos entre el 55 y 70% a menores de 10%- aún no se ha producido una recesión apreciable en el predominio del sodio sobre el calcio y magnesio.

El último estadio en la evolución geoquímica es precisamente en ese sentido : sin apenas modificarse la estructura aniónica alcanzada -un ligero incremento del porcentaje de sulfatos y cloruros que hace que esos aniones alcancen el 97 o 98% del total- se produce una recesión del papel protagonista del sodio en beneficio del calcio y magnesio. La explicación de este fenómeno se ha dado más arriba.

X X X X X

Como ya hemos comentado en más de una ocasión, y tal como mostramos en la Fig.9.7, si se supone que el área de recarga de las aguas subterráneas profundas salobres que afloran en la región de Cazalegas-Talavera de La Reina es el sector La Mata-Torrijos, la evolución de la estructura aniónica de aquéllas, hasta llegar a

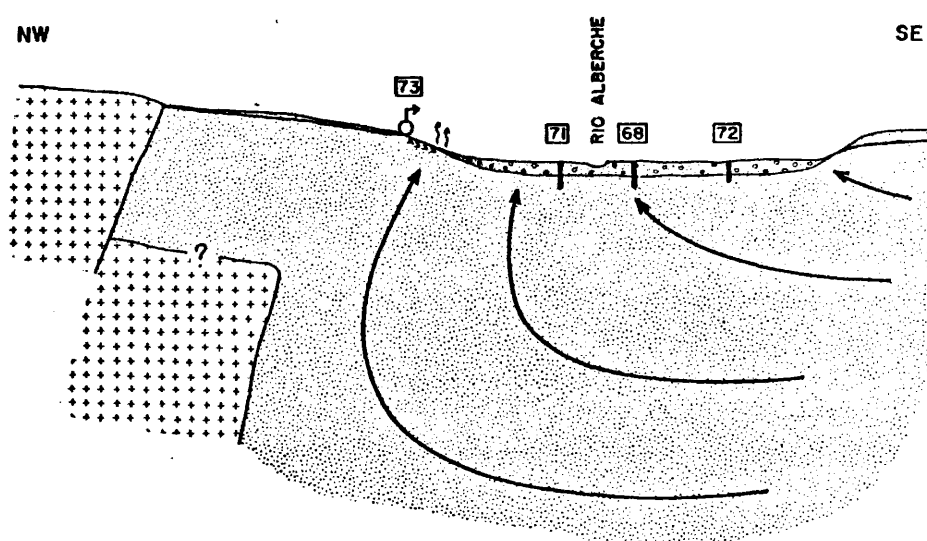
los porcentajes y contenidos tan espectaculares en cloruros y sulfatos observados, en principio solo parece posible si, como se ha deducido de los diagramas de Piper, dichas aguas parten con una estructura aniónica ya orientada en ese sentido, debido a la coincidencia de la citada área de recarga con facies mixtas propias de zonas axiales de la cuenca de sedimentación terciaria, que llevan consigo un superior contenido en sales solubles -especialmente cloruros y sulfatos- respecto a áreas marginales. He aquí la justificación de la representación de nuevo en la Fig.9.6, de los análisis 51 y 88.

Por otro lado, puede comprobarse como la longitud de la proyección sobre el plano de la posible trayectoria que seguiría una gota de agua que se infiltrara en el área citada y se moviera -una vez alcanzada la zona saturada- hacia la zona de confluencia Tajo-Alberche (ver plano 5.9; esquema de situación) es de dos a tres veces mayor que la distancia horizontal media entre el interfluvio y el thalweg del Alberche en áreas más nororientales (p. ej. la distancia desde Navalcarnero a la confluencia Alberche-Perales; ver plano 5.2). Recalcamos que no se trata de trayectorias reales de líneas de flujo sino de proyecciones de dichas trayectorias, por lo que la proporción sugerida es posiblemente conservadora.

Las muestras procedentes del acuífero aluvial en este sector a veces reflejan el quimismo de las aguas subterráneas asociadas a la unidad terciaria : tal es el caso de las muestras 78, 75, 31, 76 y 57. Las muestras 68, 70 y 71 corresponden a sondeos de corta profundidad ejecutados por el Servicio Geológico de Obras Públicas en el aluvial del Alberche cuando dicho río está próximo a encontrar al Tajo; su única finalidad era co-



nocer con detalle el espesor de dicha unidad hidrogeológica. Llama la atención la proximidad de la representación de dichas muestras a la del análisis 73, correspondiente a la zona de rezume de aguas salobres que ya fue comentada antes; ello prueba que en esta zona las líneas de flujo están lejos de la disposición horizontal de la Fig.9.7 : las condiciones de exceso de humedad, la existencia de sondeos surgentes y las mismas eflorescencias salinas prueban que el flujo es aquí vertical ascendente, posiblemente influenciado por la proximidad del contacto con el macizo granítico-metamórfico septentrional, tal como sugerimos en la Fig.9.9



**Fig.9.9.:** Justificación esquemática de la zona de rezume de aguas salobres de la Fig.9.8.

### 9.3.- ANALISIS DE LA EVOLUCION GEOQUIMICA GLOBAL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS.

Como decíamos al principio de este capítulo, con el fin de estudiar la evolución geoquímica global de las aguas subterráneas desde las áreas de recarga hasta las de descarga, hemos trazado la distribución espacial de los valores de algunas características físico-químicas -dureza y conductividad- así como de las de algunas relaciones iónicas; al mismo tiempo hemos construído diagramas bidimensionales de dispersión con pares de valores de estas características o relaciones.

Ante el modelo de flujo de las aguas subterráneas que se ha adoptado, el análisis de mapas hidroquímicos en general se verá afectado al menos de las precisiones siguientes :

- Una muestra o conjunto de muestras procedentes de pozos emplazados en zonas de estancamiento de aguas subterráneas, o próximos a ellas, producirán puntos o regiones anómalas en el mapa. Estas posibles zonas de estancamiento pueden verse en los planos 5.2, 5.3, 5.5, 5.6 y 5.9; serían zonas de estancamiento "inter-sistemas de flujo", como se denominan en Wallick, E.I. y Toth, J. (1.975); en principio, ningún pozo o sondeo inventariado ha coincidido con alguna de estas zonas predichas por nosotros, lo que no quiere decir que tal situación no vaya a presentarse en el futuro.
- En el sector de la cuenca terciaria comprendido entre el thalweg del Alberche y el límite con el macizo cristallino septentrional, el movimiento del agua subterránea es lento, causado principalmente -como ya hemos dicho- por el carácter de borde impermeable del citado límite; esta circunstancia deberá reflejarse en los mapas geo-hidroquímicos.

- Una situación que no se ha presentado tampoco todavía, dada la situación y profundidad de los pozos hasta ahora contruídos, es la aparición de zonas de estancamiento "de fondo" (Wallick, E.I. y Toth, J., 1.975). El resultado de tal situación será la presencia nuevamente de anomalías, que se traducirían en general en un aumento del grado de mineralización del agua conforme el pozo se aproxime a dichas zonas.

- Relacionado con estas zonas de estancamiento de fondo, es muy posible la existencia de un "efecto de pared" sobre la disposición de las líneas de flujo próximas al límite unidad terciaria - macizo cristalino, posiblemente favorecido por el carácter de falla inversa del citado límite; de esta forma (ver Fig.9.2) se ha justificado el manantial salobre de El Salobral. Una situación de este tipo nuevamente se manifestará como una anomalía positiva de la mineralización del agua.

- Como ya se comentó en el capítulo 7, habrá que esperar marcadas diferencias en la naturaleza química de las aguas a través de los límites de sistemas de flujo, como resultado de la posible yuxtaposición de aguas procedentes de áreas de recarga que, aún próximas, pueden tener diferente contenido en sales solubles, o simplemente debido a las distintas longitudes de las líneas de flujo, o ambas circunstancias a un tiempo. Esta última precisión puede ser un serio inconveniente para la construcción de mapas hidroquímicos; como veremos en los próximos apartados, sobre algún sector de la región de estudio -el área de confluencia Alberche-Tajo- el trazado de isolíneas lleva implícito hacer abstracción ya de las muestras procedentes de puntos que interceptan líneas de flujo del sistema estrictamente local, ya de las que proceden de líneas de flujo más profundas, cuyo recorrido se inició en áreas de recarga más alejadas.

9.3.1.- Distribución espacial de la dureza de las aguas subterráneas

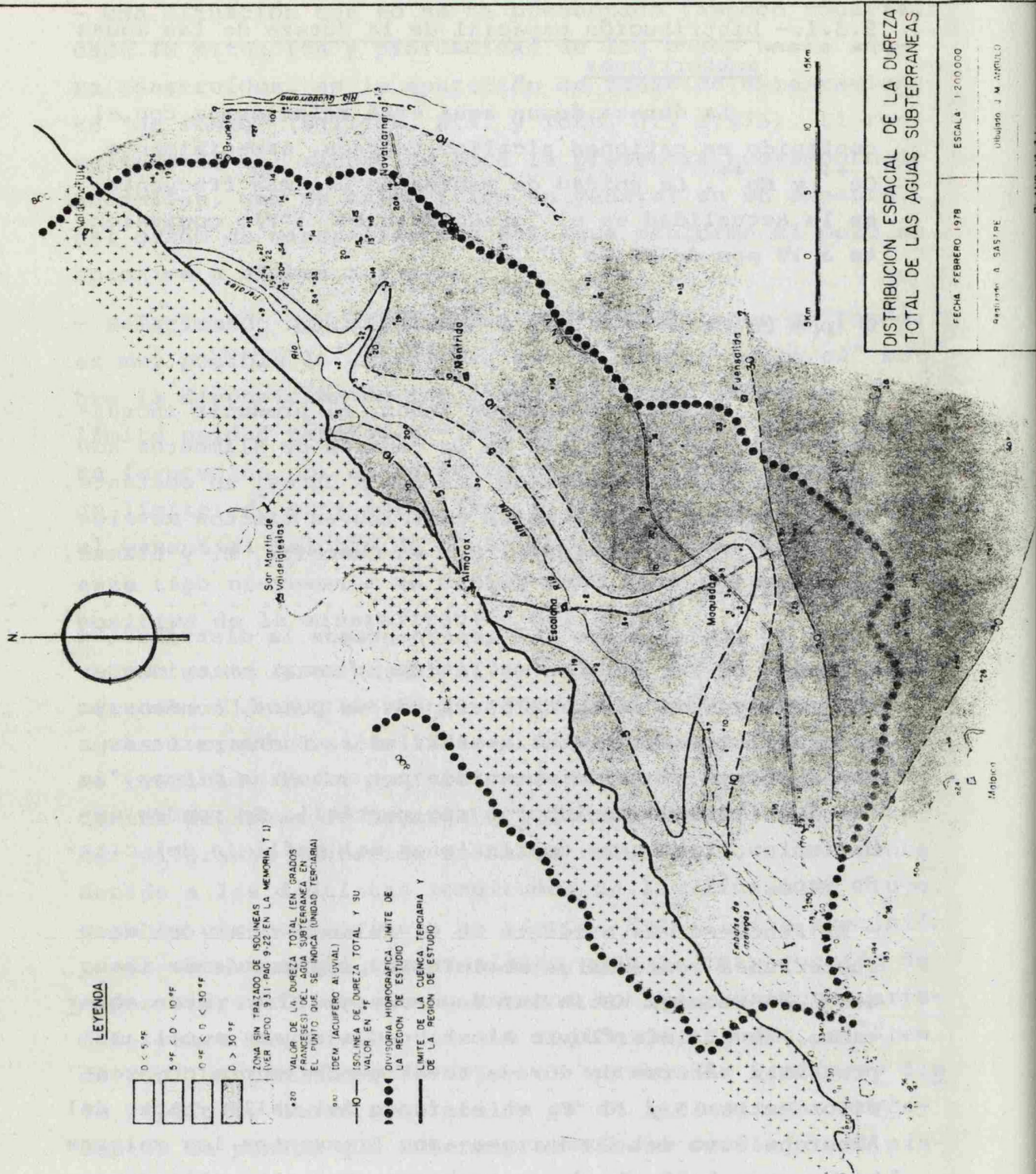
La dureza de un agua está relacionada con el contenido en cationes alcalino-terreos, especialmente  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ . La unidad de medida de uso más frecuente en la actualidad es el "grado francés" ( $^{\circ}\text{F}$ ), equivalente a 10 ppm de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  :

$$D \text{ (ppm } \text{CO}_3\text{Ca)} = \frac{\text{Ca ppm}}{20} + \frac{\text{Mg ppm}}{12} \cdot 50$$

Un gran consumo de jabón, el producir incrustaciones y la dificultad en la cocción de alimentos son los principales efectos de las aguas duras; no obstante, al primero de ellos también contribuyen ciertos metales y ácidos libres (Custodio, E., en Custodio, E. y Llamas, M.R., 1.976).

En el plano 7.1 representamos la distribución espacial de los valores de la dureza total obtenidos en las muestras de aguas subterráneas de pozos, sondeos y manantiales previamente inventariados. Buena parte de esos valores han sido obtenidos por nosotros mismos "in situ", utilizando un laboratorio portátil. Se pueden deducir las siguientes conclusiones del análisis del citado mapa :

- El fenómeno más evidente es el ablandamiento del agua subterránea conforme su movimiento progresa desde las áreas de recarga hacia las de descarga. Como puede observarse, en el interfluvio Alberche-Guadarrama aquéllas presentan valores de dureza total generalmente comprendidos entre 15 y 20  $^{\circ}\text{F}$ ; en el fondo del valle -tanto del Alberche como del Guadarrama- son frecuentes los valores menores de 5  $^{\circ}\text{F}$ . Puede comprobarse como este ablandamiento lleva aparejado un aumento del pH (ver Anejo V). Como



## 363

ya hemos comentado, el fenómeno se debe a procesos de intercambio iónico por los cuales el agua cede los cationes de calcio y magnesio al terreno y éste cede a su vez al agua cationes de sodio.

- En el sector Fuensalida-Torrijos-Cebolla el valor de la dureza total es superior a los 30 °F. Concuerda con las observaciones que ya hicimos en el apartado 9.2.3. respecto al brusco incremento en el contenido de sales solubles de los sedimentos terciarios de las áreas centrales de la cuenca de sedimentación.

- Queda perfectamente caracterizada el área de descarga Maqueda-Escalona, donde los valores de dureza -ya desde distancias próximas al interfluvio- oscilan entre 2 y 3 °F, lo que corrobora la rapidez de los procesos de cambio iónico, superior con mucho a los procesos de puesta en solución (Custodio, E. op.cit.). En este área, en zonas próximas al thalweg del Alberche, aquellos procesos alcanzan su punto culminante (ver Fig.9.5 y apartado 9.2.3) llegándose a porcentajes de sodio del 95% respecto al calcio y magnesio.

- Es también notable la baja dureza de las aguas subterráneas de los pozos emplazados entre el thalweg del Alberche y el límite de la cuenca terciaria; en este área, el lento movimiento del agua debido al bajo gradiente de potencial hidráulico, y el muy posiblemente bajo contenido en sales solubles del sustrato hacen que el intercambio catiónico se produzca con intensidad pero que a la vez sea la única modificación apreciable en la estructura química de aquéllas, ya que la evolución en la estructura aniónica está solamente esbozada (ver Figs.9.1, 9.3, 9.4 y 9.6).

- Al SW de Navalcarnero se observa una anomalía negativa en el valor de la dureza total de las aguas subterráneas de tres pozos profundos cuyos análisis químicos -los números 26, 27 y sobre todo el 25- ya adoptaron una posición anómala en el diagrama de Piper de la Fig. 9.3; era precisamente el más anómalo el de mayor profundidad -430 mts.-, precisamente el que aquí muestra una dureza menor. La coincidencia de estos pozos con la existencia de un acusado umbral en el zócalo ("umbral de Navalcarnero") que limita el espesor de la unidad terciaria a unos 600 metros, y quizá menos, podría explicar esta anomalía.

- En el área de confluencia Alberche-Tajo, ante los enormes contrastes del valor de la dureza hemos optado por no continuar el trazado de las isolíneas; como ya se ha comentado, en esta zona interfiere el flujo estrictamente local con líneas de flujo más profundas, procedentes de áreas más alejadas del interfluvio Alberche-Tajo (el sector Torrijos - La Mata). En el sistema de flujo constituido por estas últimas, el inicial predominio del sodio por procesos de cambio iónico tiende pronto a borrarse ante ulteriores procesos de disolución que elevan globalmente el contenido iónico del agua subterránea.

- Las aguas del acuífero aluvial solo localmente reflejan la dureza de las aguas subterráneas de la unidad terciaria, especialmente en la repetidamente mencionada área de confluencia Alberche-Tajo.

#### 9.3.2.- Distribución espacial de la conductividad eléctrica de las aguas subterráneas.

La conductividad eléctrica es la capacidad de un agua para conducir electricidad (Custodio, E. op.cit.); como es lógico crece con el contenido de iones disueltos,

## 365

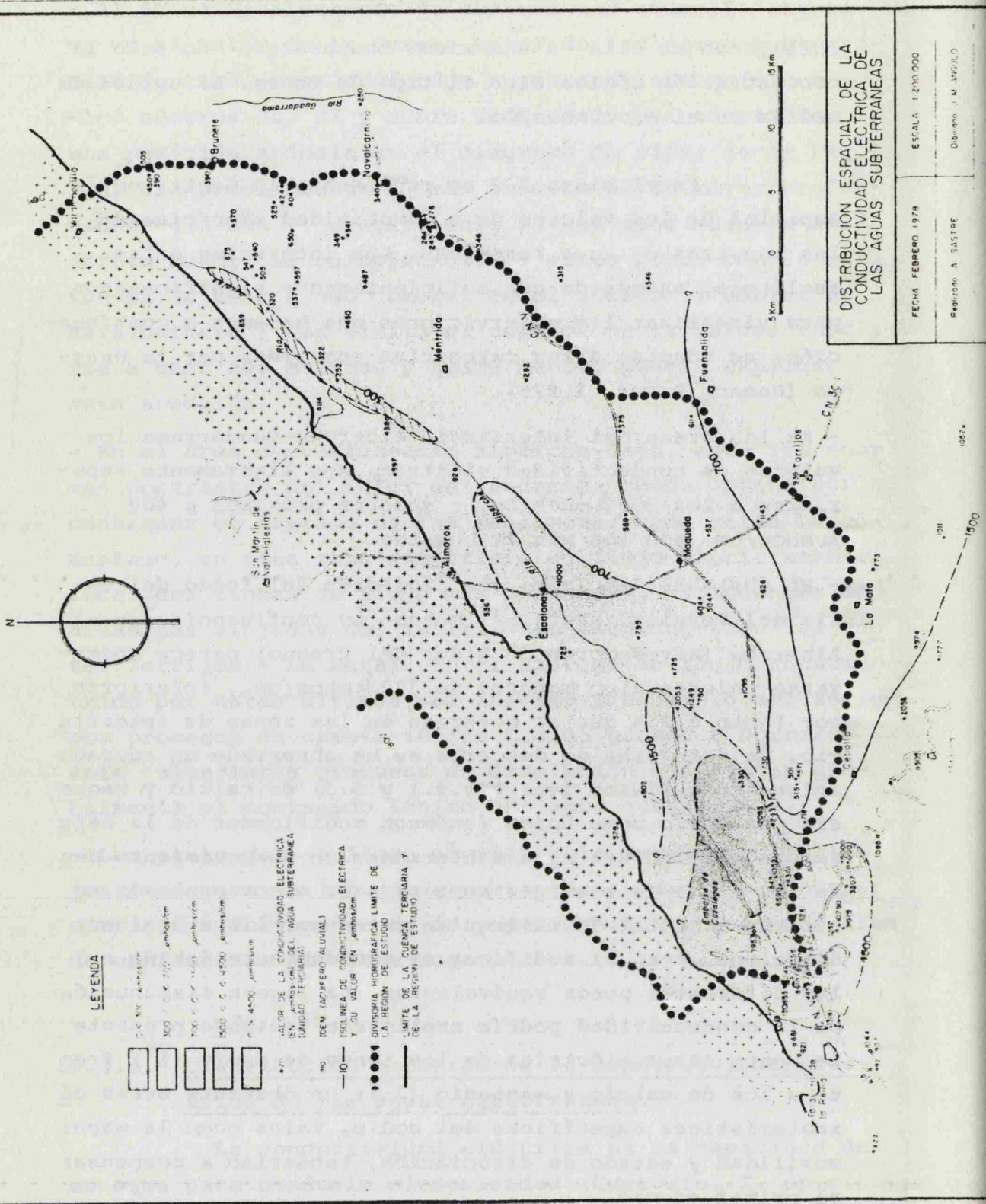
influyendo en ella -a una misma temperatura- no solo la concentración iónica sino el tipo de iones. La unidad de medida es el micromhos/cm.

En el plano 7.2 se representa la distribución espacial de los valores de conductividad eléctrica de las muestras de agua recogidas. Los intervalos entre isolíneas, además de ser suficientemente significativos para visualizar las observaciones que haremos a continuación, se adaptan a las categorías sugeridas por la Unesco (Unesco Press, 1.975).

- En las áreas del interfluvio Alberche-Guadarrama los valores de conductividad eléctrica son ligeramente superiores a los 300  $\mu$ mhos/cm. : valores próximos a 400  $\mu$ mhos/cm. son los más frecuentes.

- No obstante, en la margen izquierda del fondo del valle del Perales, hasta -al menos- su confluencia con el Alberche (alrededores de Aldea del Fresno) parece observarse valores algo menores de 300  $\mu$ mhos/cm., inferiores por tanto a los que se observan en las zonas de interfluvio. En este área de descarga se ha observado un acusado intercambio iónico (ver Fig.9.1 y 9.3) de calcio y magnesio por sodio como único fenómeno modificador de la naturaleza química del agua subterránea en su movimiento desde las áreas de recarga; como se sabe estos procesos no alteran el total de miliequivalentes por litro de iones disueltos, pero si modifican el residuo seco debido a los diferentes pesos equivalentes. La ligera disminución de la conductividad podría explicarse teniendo presente la menor carga eléctrica de los iones de sodio ( $1^+$ ) frente a los de calcio y magnesio ( $2^+$ ); no obstante otras características específicas del sodio, tales como la mayor movilidad y estado de disociación, tenderían a compensar el primer efecto.





## 367

- Entre el curso del Alberche y Perales y el contacto con el macizo cristalino se observan conductividades más altas; como ya dijimos se producía allí un acentuado intercambio iónico, pero además una cierta puesta en solución que podría ser responsable de este incremento de la conductividad respecto a la margen izquierda del fondo del valle.

- Al SW de Navalcarnero vuelve a observarse una anomalía en el valor de la conductividad eléctrica del agua de los pozos profundos allí emplazados. Los procesos que allí se producirían serían algo semejantes a los que se observan en las áreas de fondo de valle.

- En el sector Fuensalida-Torrijos-La Mata la conductividad eléctrica de las aguas subterráneas es apreciablemente mayor que en zonas más septentrionales de la divisoria de aguas superficiales del Alberche.

- Dado que en el área de descarga de Maqueda las aguas subterráneas solo acusaban fenómenos de intercambio catiónico (ver plano 7.1), dicha zona de descarga no queda recogida en el plano 7.2.

- Haciendo abstracción de las muestras procedentes de pozos poco profundos, ha sido posible trazar las líneas de isoconductividad en el área de confluencia Tajo-Alberche; dichas isolíneas corresponden -insistimos- a las muestras tomadas en pozos y sondeos que alcanzan cotas más bajas.

- Como puede observarse, las aguas del acuífero aluvial en la zona indicada, suelen reflejar la conductividad de las del acuífero terciario.

### 9.3.3.- Distribución espacial de algunas relaciones iónicas

#### 9.3.3.1.- Índice catiónico $r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) / r(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$ .

Esta relación iónica es particularmente adecuada para seguir los procesos de cambios de bases; sin embargo es preciso tener en cuenta de acuerdo con Custodio, E. (op.cit.) que la precipitación o disolución de sales de calcio altera la relación sin que se produzca ningún cambio de base; no obstante los diagramas de Piper (Figs. 9.1, 9.3, 9.4 y 9.6) no indican que tales disoluciones o precipitaciones se produzcan en nuestra región de estudio.

La distribución espacial de esta relación se muestra en el plano 7.3; es muy parecida a la distribución de la dureza total (plano 7.1). Aunque ambas distribuciones responden esencialmente a los mismos procesos -mayor contenido en sales solubles de los materiales terciarios bajo el interfluvio Alberche-Tajo que bajo el interfluvio Alberche-Guadarrama, fenómenos de intercambio iónico, procesos de puesta en solución, etc.-, todos ellos aparecen más resaltados aquí (plano 7.3). En cualquier caso, las mismas observaciones que en el apartado 9.3.1. se hicieron son válidas aquí en todo momento.

#### 9.3.3.2.- Índice de desequilibrio (IDD).

El índice de desequilibrio entre cloruros y alcalinos (IDD) también llamado índice de cambio de bases (ICB) puede responder a las dos expresiones siguientes :

$$\text{IDD} = \frac{r \text{Cl}^- - r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)}{r \text{Cl}^-}$$



$$IDD = \frac{r \text{ Cl}^- - r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)}{r (\text{SO}_4^{2-} + \text{CO}_3\text{H}^- + \text{NO}_3^-)}$$

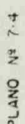
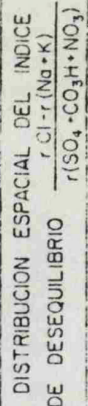
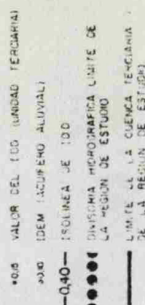
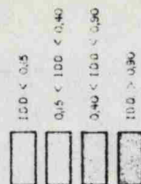
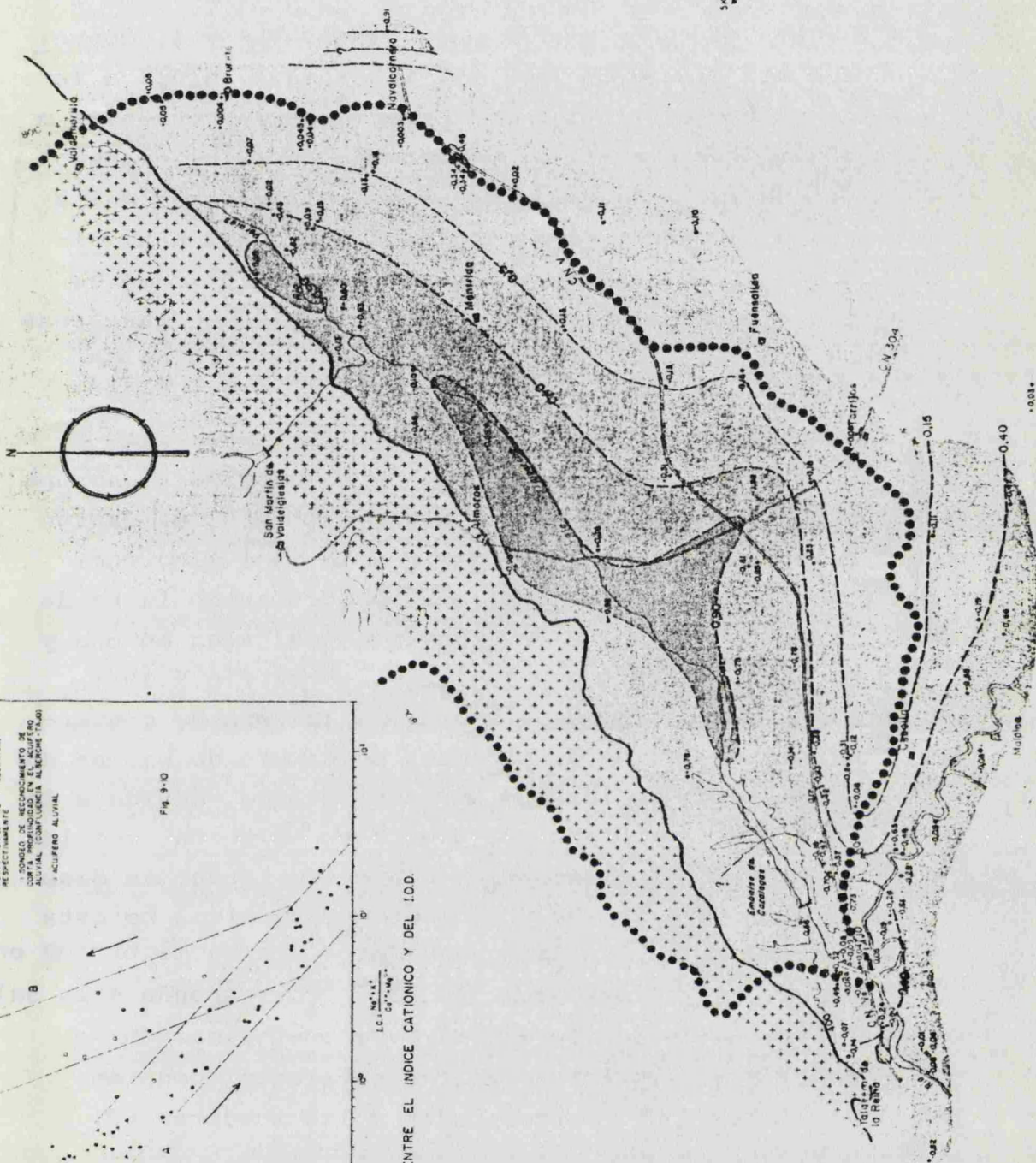
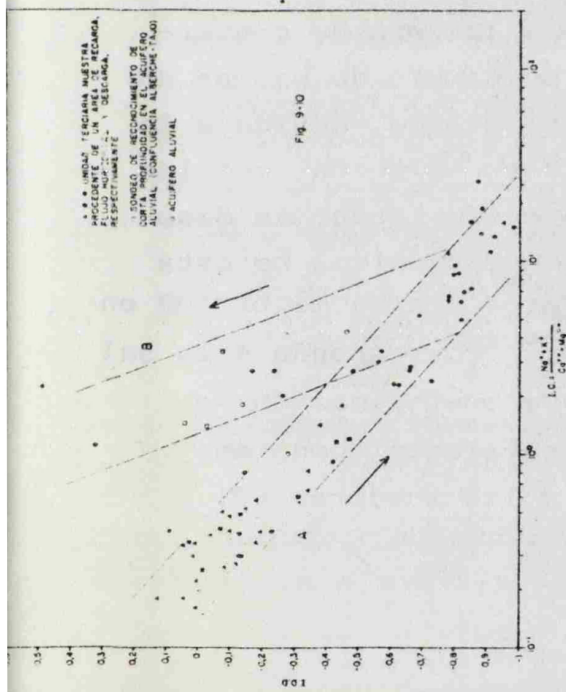
La segunda es la que aquí se ha utilizado, puesto que de acuerdo con Custodio, E. (en Custodio, E. y Llamas, M.R., 1.976), es la más adecuada cuando se obtienen valores negativos.

Este índice cuantifica también de alguna forma los fenómenos de intercambio iónico. En las áreas de recarga de aguas subterráneas su valor es positivo o negativo pero en general próximo a cero; al producirse ablandamiento del agua, su valor tiende a disminuir. Así pues el cambio de bases no viene definido por un valor absoluto sino por una variación (Custodio, E., en Custodio, E. y Llamas, M.R., 1.976).

La distribución espacial del IDD se muestra en el plano 7.4; el trazado de las isolíneas es semejante al de los planos 7.1 y 7.3 y pocos comentarios nuevos pueden hacerse : cabe destacar que no se observan anomalías del IDD en el área Fuensalida - Torrijos - La Mata, donde el mayor contenido salino del sustrato incidía en un valor más alto de la dureza y del índice catiónico respecto al de otras zonas más marginales de la divisoria del Alberche. Los valores de IDD siguen siendo los típicos de áreas de interfluvio, es decir próximos a cero.

En el área de confluencia Alberche-Tajo puede observarse como las muestras de agua procedentes de sondeos y pozos de menor cota (ver plano 5.9) presentan un IDD menos negativo -es decir, más próximo a cero- en comparación con el de muestras procedentes de pozos menos profundos. La justificación de este fenómeno ya la hemos





sugerido con anterioridad y pretendemos visualizarla en la Fig.9.10, asociada al plano 7.4; en el diagrama de dispersión se han representado los valores del índice catiónico (en escala logarítmica) y los del IDD (en escala lineal).

En la citada figura puede observarse como todos los puntos se agrupan en dos bandas, A y B, convergentes junto al eje de abscisas. La banda A agrupa a la mayoría de los puntos: puede observarse la tendencia a la agrupación de las áreas de recarga hacia el extremo superior de la banda -valores de I.C. inferiores a 1 e IDD próximo a cero-; las áreas de flujo horizontal siguen a las primeras, con una mayor dispersión como es lógico; la banda finaliza con la agrupación de las áreas de descarga: los últimos puntos muestran valores de IDD próximos a -1 e I.C. próximo a 15.

La banda B, convergente con la primera, agrupa única y exclusivamente a los pozos y sondeos que captan agua salobre en el área de confluencia Tajo-Alberche; los restantes puntos de esa zona se agrupan en la banda A. El sentido de evolución geoquímica del agua en una y otra es distinto tal como indicamos en la Fig.9.10: mientras que en la primera era hacia la zona de convergencia -manifestación de procesos de cambio de bases- en la segunda es desde la zona de convergencia, debido a la manifestación de procesos de puesta en solución, por los que al aumentar globalmente el contenido iónico en disolución, disminuye el IDD y el índice catiónico. De esta forma, el punto que en esta banda presenta un mayor IDD en valor absoluto -aproximadamente +0,5- corresponde a la sal muera mostrada en la Fig.9.8 B; cuya justificación se daba en la Fig. 9.9.; los puntos señalados con un cuadrado vacío ( $\square$ ) corresponden a las muestras 68,

71 y 72 indicados en la mencionada figura : si el flujo es como en ella se indica, el agua de las líneas de corriente causantes del manantial salobre, por ser más profundas -y por tanto con mayor recorrido a través del terreno- debe ser más salina que el de líneas adyacentes superiores, que originarían los restantes puntos mencionados.

#### 9.3.3.3.- Índice aniónico $r(\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{=}) / r \text{CO}_3\text{H}^-$

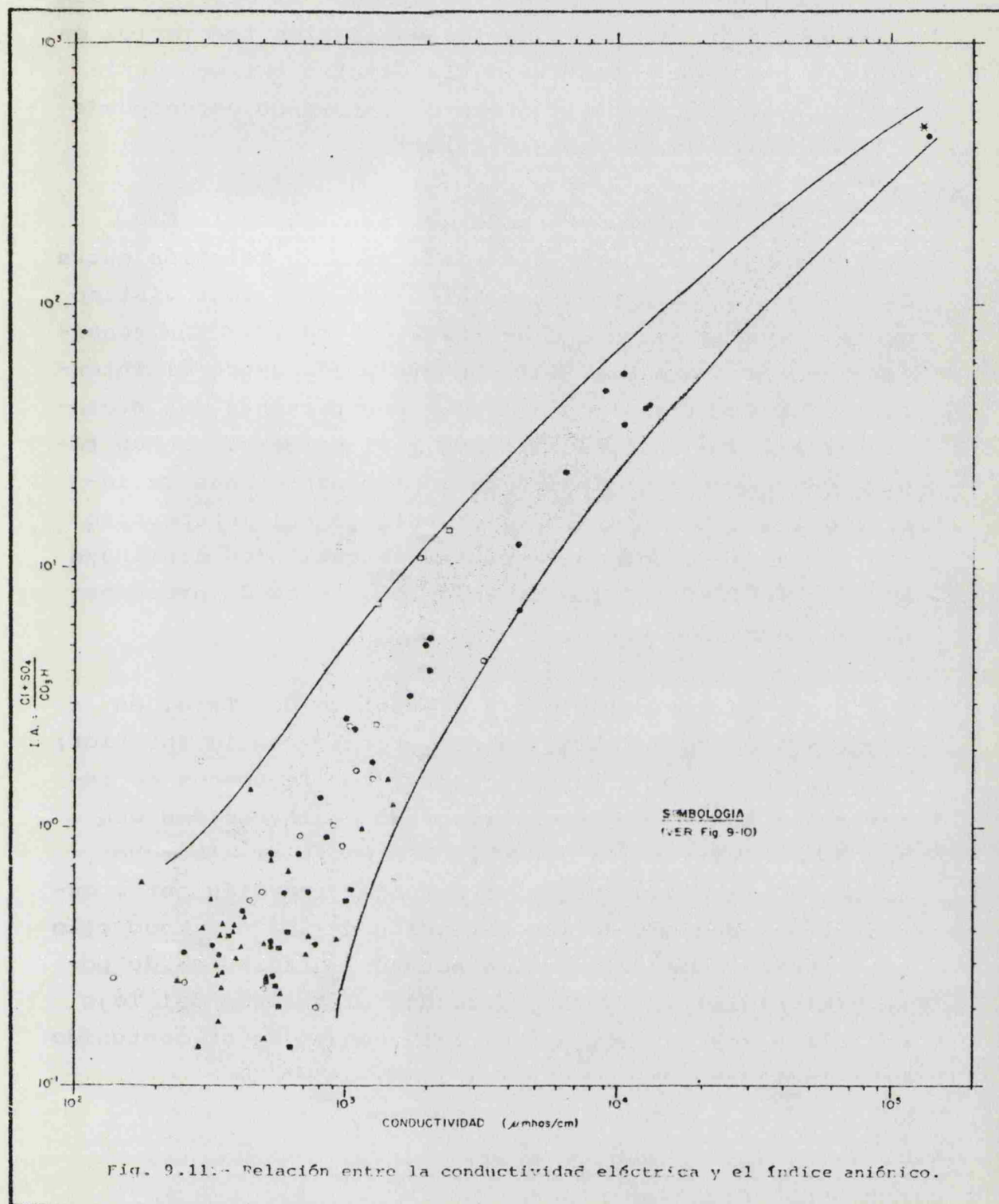
Dada la sucesión propuesta por Chebotarev, I. I. (1.955) para el carácter de anión dominante -expuesta en el apartado 9.1- y teniendo presente que el contenido en  $\text{CO}_3\text{H}^-$  es un valor relativamente constante en las aguas subterráneas (Custodio, E. en Custodio, E. y Llamas, M.R., 1.976), el índice aniónico que se propone tiene interés para seguir el proceso de concentración de sales en el sentido del flujo subterráneo; lógicamente, un aumento en la relación indicará un aumento del contenido iónico del agua.

La distribución espacial de este índice aniónico puede verse en el plano 7.5; nótese su parecido con el plano 7.2, dado que ambas distribuciones también obedecen al mismo proceso, como es la concentración en sales en el sentido del flujo; por tanto, los comentarios que se hicieron para aquel plano (apartado 9.3.2.) son en líneas generales válidos para éste.

En la Fig.9.11 indicamos la relación entre la conductividad y el índice aniónico; como podía esperarse, es una relación sencilla y continua en la que un aumento del índice aniónico se traduce en un aumento de la con-







ductividad. La mayor dispersión que se observa en la agrupación de puntos de recarga se debe al diferente contenido en sales solubles de los materiales terciarios en algunas zonas de interfluvio. En el otro extremo de la gráfica, el punto señalado con un asterisco corresponde a la salmuera de la Fig.9.8 (B).

Finalmente y a modo de resumen, en la Fig. 9.12 -asociada al plano 7.5- indicamos la relación entre el índice aniónico y el catiónico; de un primer vistazo puede comprobarse que no se trata de una relación sencilla como la de la Fig.9.11. La evolución desde el interfluvio hacia el thalweg del Alberche presenta dos sectores claramente individualizados : el primero, con un rápido incremento del índice catiónico sin apenas variación del índice aniónico es el reflejo del intercambio iónico; el segundo, donde el índice catiónico disminuye al incrementarse el índice aniónico, lo es de procesos de concentración salina.

La evolución hacia el thalweg del Tajo, en nuestra área de estudio, es convergente con la anterior; como ya hemos dicho anteriormente, los fenómenos de intercambio iónico no llegan al grado de intensidad con que se manifiestan en la evolución hacia el Alberche; además no se produce aquella marcada gradación entre estos y los procesos de concentración salina : a todo ello contribuyen como dijimos los acusados gradientes de potencial hidráulico y la proximidad al thalweg del Tajo de facies de transición o mixtas, con un mayor contenido en sales solubles.

CAPITULO 10

ANALISIS DEL CONTENIDO EN ISOTOPOS AMBIENTALES  
DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

#### 10.- ANALISIS DEL CONTENIDO EN ISOTOPOS AMBIENTALES DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Otro procedimiento para establecer el modelo del flujo de las aguas subterráneas en una cuenca de drenaje dimana del estudio de la distribución de su contenido en isótopos ambientales. Algunas relaciones isotópicas que, en ese sentido, pueden usarse en las investigaciones hidrogeológicas, son las siguientes (Wallick, E.I. y Toth, J., 1.975) :  $^2\text{H}/^1\text{H}$ ,  $^3\text{H}/^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ ,  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ,  $^{32}\text{Si}/^{28}\text{Si}$ ,  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  y  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ; por el momento solo se utilizan normalmente las que atañen a los isótopos de los elementos que componen la molécula del agua ( $^{18}\text{O}$ , D y  $^3\text{H}$ ) y a los del carbono ( $^{14}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ), un elemento que siempre, en mayor o menor medida, se encuentra en ella en disolución. Recientes investigaciones incorporan la relación isotópica  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  al espectro anterior (Fontes, J.C., 1.976; Mariotti, A. y Letolle, R., 1.977).

En nuestro trabajo, se estudia la distribución del contenido en oxígeno-18 de las aguas subterráneas de la cuenca terciaria del río Alberche a partir de 28 determinaciones verificadas por nosotros mismos. Seguidamente se relacionan dichas determinaciones con algunas características químicas y relaciones iónicas.

Esta parte del estudio se inscribe en un más amplio contexto de investigación isotópica de la Cuenca de Madrid; los primeros resultados se han obtenido merced a una beca concedida por el Gobierno Francés. Las determinaciones se han realizado en el "Laboratoire de Geologie Dynamique" de la Universidad "Pierre et Marie Curie" (París-VI).

## 379

En nuestro país, las investigaciones hidrogeológicas regionales han obviado casi totalmente la utilización de los isótopos ambientales estables ( $^{18}\text{O}$  y D); la razón podría residir en la carencia de los medios necesarios para efectuar las determinaciones; una excepción es la investigación hidrogeológica del archipiélago canario (Gonfiantini, R., 1.974; Gonfiantini, R. et al., 1.975).

Los isótopos ambientales radiactivos y algunas técnicas utilizando isótopos radiactivos adicionados, fueron usadas por Corchón, F. (1.976) en la investigación hidrogeológica de las acuíferos constituidos por los materiales cretácicos de Torrelaguna; pasando a los materiales terciarios, algunas dataciones por carbono-14 y tritio de las aguas subterráneas se dan en López Vera, F., (1.975), Rebollo, L. (1.977) y Villarroja, F.I. (1.977).

Por todo ello, este capítulo puede concebirse, de alguna forma, como un aspecto original del estudio que presentamos.

#### 10.1.- INTRODUCCION

El oxígeno-18, junto con el deuterio y el tritio, puede ser considerado como un trazador interno o intrínseco de la molécula de agua (Fontes, J.C., 1.976; Molinari, J., 1.977) por el simple hecho de formar parte de ella. La molécula que incorpora uno de estos isótopos en su armazón, adquiere unas propiedades físico-químicas algo diferentes de la molécula banal; dichas propiedades son responsables de las variaciones del contenido de las aguas naturales en esos isótopos ambientales estables.

Estas variaciones relativas del contenido son suficientemente significativas; se miden como desviaciones -  $\delta$  (delta)- respecto a un patrón de referencia denominado SMOW ("Standard Mean Ocean Water") (Craig, H., 1.961), que representa la composición isotópica media del agua oceánica :

$$\delta^{18}\text{O} = \left[ \frac{^{18}\text{O}/^{16}\text{O} \text{ muestra}}{^{18}\text{O}/^{16}\text{O} \text{ SMOW}} - 1 \right] \cdot 1.000$$

Delta ( $\delta$ ) de SMOW es cero por definición; en la naturaleza se han encontrado desviaciones relativas máximas de  $-40\text{‰}$ , siendo menos frecuentes las desviaciones de signo positivo (Plata, A., 1.972).

Las variaciones del contenido en isótopos estables en general, se determinan con un espectrómetro de masas; estos aparatos deben responder a dos especificaciones esenciales (Letolle, R., Marce, A. y Fontes, J.C., 1.965) :

- posibilidad de comparación en algunos segundos entre un gas a analizar y un gas que sirve de patrón de referencia.
- posibilidad de distinguir entre estos dos gases, de manera reproducible, una diferencia de composición de  $\delta = 0,1$ .

Las muestras se analizan en forma gaseosa ( $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ). Para medida de la relación  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  y  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  se utiliza la abundancia relativa de los iones moleculares  $^{12}\text{C} \text{ } ^{16}\text{O} \text{ } ^{16}\text{O}$  (masa 44),  $^{13}\text{C} \text{ } ^{16}\text{O} \text{ } ^{16}\text{O}$  (masa 45) y  $^{12}\text{C} \text{ } ^{16}\text{O} \text{ } ^{18}\text{O}$  (masa 46). La comparación de las masas 44 y 45 permite obtener las variaciones del contenido en

## 381

$^{13}\text{C}$ ; a partir de la abundancia de iones de masa 46 respecto a los de masa 44 y 45, se puede inferir la variación del contenido en  $^{18}\text{O}$ ; para este isótopo en particular, una variación de delta de  $0,1\text{‰}$  es suficientemente significativa.

Las variaciones del contenido en  $^{18}\text{O}$  del agua de lluvia se deben a procesos de fraccionamiento isotópico, que tienen lugar fundamentalmente en los procesos de evaporación y condensación. Influye por tanto la continentalidad (distancia al mar), temperatura anual media (latitud) y altitud. Además se producen variaciones estacionales de forma que es en los meses más fríos y más cálidos cuando se produce una lluvia "ligera" y más "pesada" ( $\delta^{18}\text{O}$  más y menos negativo) respectivamente: estas variaciones no solo son debidas a variaciones de temperatura sino también de pluviometría y de origen del aire húmedo (Custodio, E., en Custodio, E. y Llamas, M.R., 1.976).

Durante la infiltración del agua de las precipitaciones, dos fenómenos -de efectos contrapuestos- deben tenerse en cuenta en lo que atañe a su contenido en isótopos estables:

- Si la recarga se produce durante los meses de invierno, como el agua de las precipitaciones es en ese período isotópicamente más "ligera" -menor  $\delta$ - habrá que esperar que la composición isotópica media del agua de recarga sea algo menor que la composición isotópica media de las precipitaciones (Custodio, E., en Custodio, E. y Llamas, M.R., 1.976).

- Desde que el agua de las precipitaciones llega a la superficie del terreno empiezan a actuar los procesos de evaporación; realmente dichos fenómenos actúan ya



durante su caída. El tiempo que tarda la fracción que se infiltra en quedar fuera de los efectos de la evaporación depende de diversos factores : permeabilidad, relieve, existencia de cobertera vegetal, etc. El hecho es que estos procesos de evaporación tienden a originar un enriquecimiento en isótopos pesados : la fracción líquida que resta es un agua isotópicamente más "pesada". Este fraccionamiento isotópico decrece cuando la temperatura aumenta (Fontes, J.C., 1.976).

Una investigación isotópica de una determinada cuenca de drenaje de aguas subterráneas, además de requisitos previos tales como establecer empírica o teóricamente la distribución de potencial hidráulico para identificar sistemas de flujo y áreas de recarga y descarga, normalmente comenzará empleando los isótopos ambientales estables (deuterio y oxígeno-18) antes que los radiactivos; razones económicas y de empleo de tiempo apoyan esta sugerencia (Wallick, E.I. y Toth, J., 1.975).

El fundamento del trazado natural de las aguas subterráneas de la Cuenca de Madrid mediante los isótopos ambientales estables se esquematiza en las figuras 10.1. :

- En el instante  $T_1$  reinan unas condiciones climáticas determinadas en las que las aguas de las precipitaciones tienen un contenido medio en  $^{18}\text{O}$  de  $P_1$ . ( $\delta_P^{18}\text{O} = P_1$ ); la gota de agua A infiltrada bajo aquellas condiciones presenta  $\delta_A^{18}\text{O} = x_1$  (en un clima templado  $x_1$  será poco diferente de  $P_1$ ).

- En el instante  $T_2$  la gota A ya se encuentra hacia la mitad de su trayectoria;  $\delta_A^{18}\text{O}$  permanece inalterable;

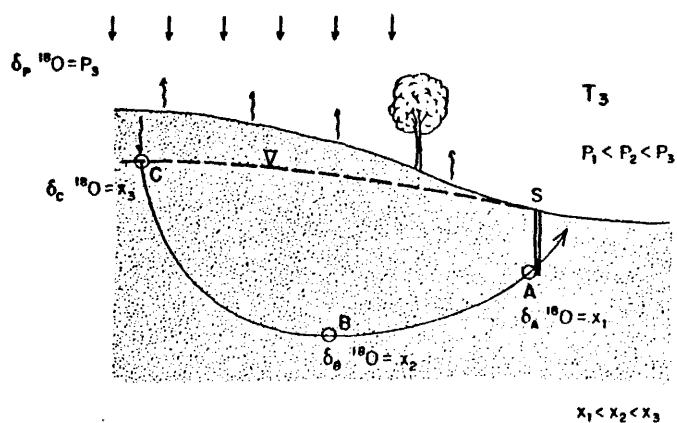
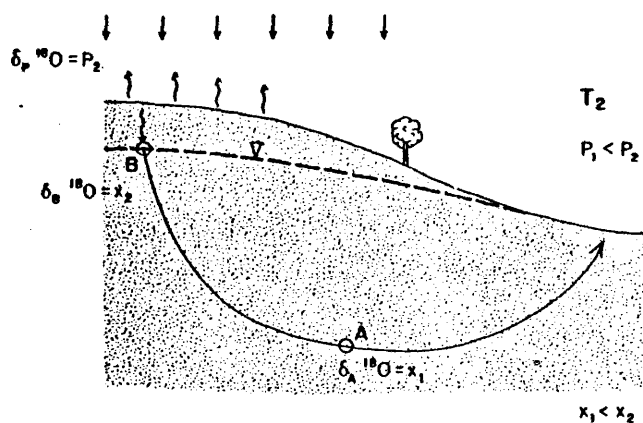
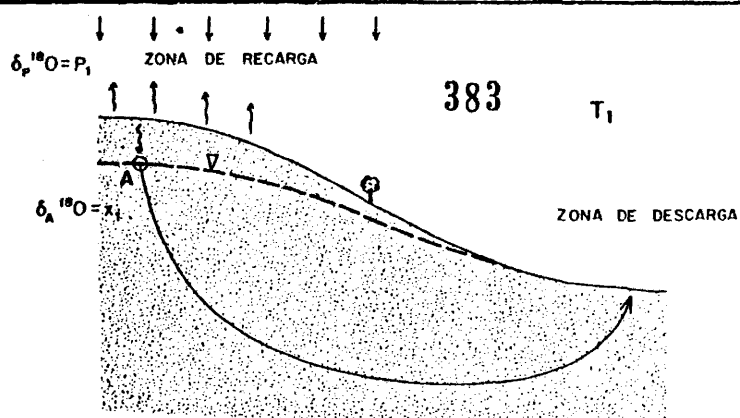


Fig. 10-1.- FUNDAMENTO ESQUEMATICO DEL TRAZADO  
NATURAL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE LA CUENCA DE  
MADRID POR LOS ISOTOPOS AMBIENTALES ESTABLES.

las condiciones climáticas han evolucionado hacia una mayor temperatura media anual por lo que el contenido medio en  $^{18}\text{O}$  del agua de las precipitaciones es mayor ( $\delta_P^{18}\text{O} = P_2 > P_1$ ); en esas condiciones la gota de agua B, con  $\delta_B^{18}\text{O} = x_2 > x_1$ , inicia su recorrido.

- Finalmente en el instante  $T_3$  las condiciones climáticas han seguido evolucionando hacia una mayor temperatura media anual, por lo que el contenido medio en  $^{18}\text{O}$  del agua de las precipitaciones será aún mayor ( $\delta_P^{18}\text{O} = P_3 > P_2 > P_1$ ); en esas condiciones la gota de agua C alcanza la zona saturada con  $\delta_C^{18}\text{O} = x_3$  tal que  $x_3 > x_2 > x_1$ . Por otro lado la gota de agua A está próxima a finalizar su recorrido por el acuífero, volviendo de nuevo a la superficie topográfica; un poco antes de que ello ocurra es interceptada su trayectoria por el pozo S. Lógicamente su contenido isotópico  $\delta_A^{18}\text{O} = x_1$  -el mismo que poseía cuando, por infiltrarse en el terreno en el instante  $T_1$ , escapó de la acción de la evapotranspiración- será diferente del que en ese mismo instante poseen las aguas captadas en zonas de recarga.

Una hipótesis básica, como ya se habrá intuído, es considerar que no hay intercambio isotópico entre el oxígeno-18 del agua y el de la estructura de los minerales que integran el acuífero. En el dominio de las temperaturas ambientales -como es nuestro caso- algunos autores han señalado que los mal conocidos fenómenos de ultrafiltración podrían causar este tipo de intercambio isotópico; en cualquier caso estos fenómenos parecen ser relativamente limitados (Fontes, J.C., 1.976).

Teniendo presente los límites subverticales entre sistemas de flujo en áreas de recarga y descarga y los límites subhorizontales en zonas de transición

("mid-line"), es en estas últimas donde preferentemente se debe intentar establecer los límites entre sistemas a partir de determinaciones del contenido en isótopos estables.

En investigaciones isotópicas a gran escala, los isótopos ambientales estables tienen en general una mayor importancia relativa; de acuerdo con Wallick, E. I. y Toth, J. (1.975) el papel del tritio y del carbono-14 será resolver los problemas indicados por la distribución de isótopos estables, tales como confirmar la existencia de zonas de estancamiento, determinar el origen de fenómenos de campo en principio atribuidos al modelo del flujo de las aguas subterráneas, etc. Solo en investigaciones a pequeña escala la importancia de los isótopos ambientales radiactivos supera a la de los estables.

#### 10.2.- DISTRIBUCION ESPACIAL DEL CONTENIDO EN $^{18}\text{O}$ DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS.

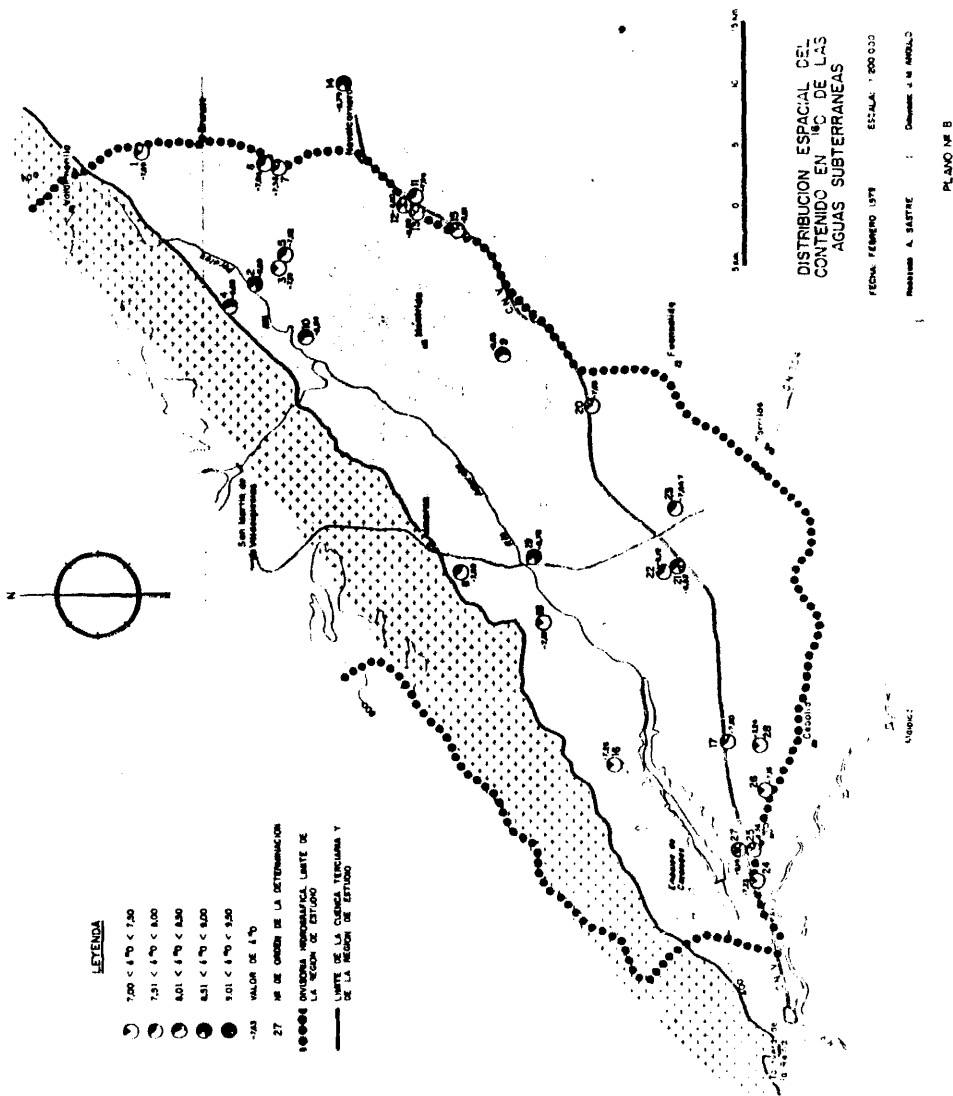
En el Plano n°8 se muestra la distribución espacial del contenido en  $^{18}\text{O}$  de las aguas subterráneas de la región de estudio (Tabla 10.1.); junto al valor de  $\delta^{18}\text{O}$  se especifica el número de orden de la determinación, con el fin de facilitar a lo largo del texto la referencia a una muestra concreta en un momento dado.

La toma de muestras de agua para determinaciones del contenido en isótopos ambientales es una operación delicada; en general suele exigir que el agua no haya estado en contacto con la atmósfera, por lo que la muestra debe ser tomada directamente de la tubería procedente de la maquinaria de elevación del agua del pozo.

Tabla 10.1

Contenido en Oxígeno-18 de las aguas subterráneas de la  
cuenca terciaria del río Alberche.

<u>N° de pozo en el inventario</u>	<u><math>\delta^{18}O</math></u>	<u>N° orden de la muestra</u>
558/3/2	-7,89	1
558/5/5	-8,89	2
558/5/6	-7,19	3
558/5/7	-8,05	4
558/5/17	-7,82	5
558/6/24	-7,84	6
558/6/48	-7,53	7
580/6/2	-7,60	8
580/8/4	-8,05	9
581/1/29	-8,24	10
581/2/81	-7,94	11
581/2/82	-8,80	12
581/2/89	-8,08	13
581/3/17	-8,79	14
581/6/1	-8,01	15
602/4/1	-7,26	16
602/8/1	-7,80	17
603/1/3	-7,18	18
603/2/2	-8,78	19
603/4/1	-7,63	20
603/6/3	-8,52	21
603/6/9	-8,19	22
603/7/2	-7,64	23
627/2/20	-7,23	24
627/3/18	-8,36	25
627/3/45	-7,16	26
627/3/46	-9,14	27
627/4/4	-7,24	28



## 388

Esto exige una serie de condiciones en la instalación que nos obligaron a modificar la distribución inicial de la red de toma de muestras.

Los puntos de muestreo han sido en casi todos los casos pozos de explotación, que en pocas ocasiones pueden considerarse piezómetros "perfectos" ante la disposición de tramos filtrantes frente a todos los tramos arenosos atravesados durante la perforación; las mezclas, en el propio pozo, de aguas con diferente valor de  $\delta^{18}\text{O}$ , procedentes de distintos ámbitos de la zona saturada, han debido sin duda producirse. En algunos casos, el control del tiempo transcurrido desde la puesta en funcionamiento del pozo hasta el instante de tomar la muestra, junto al conocimiento de la situación de zonas filtrantes, puede ayudar a poner de manifiesto dicho mezclado.

Con el fin de facilitar el análisis del citado plano n°8, en los próximos apartados se estudian por separado un conjunto de zonas en las que el contenido isotópico de las aguas subterráneas obedece a un mismo tipo de especificaciones. Recordamos que en la tabla 10.1. se dan los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  de las aguas subterráneas de la cuenca terciaria del río Alberche.

#### 10.2.1.- Caracterización isotópica de áreas de recarga

En el área de la divisoria hidrográfica del Alberche con el Guadarrama primero y con el Tajo después, se observa una cierta dispersión en los valores de  $\delta^{18}\text{O}$ , que van desde -7,16 (muestra 26), a -8,08 (muestra 13); esta dispersión queda explicada recurriendo a tres ti-

## 389

pos de condicionamientos en función del medio hidrogeológico, del régimen de las aguas subterráneas y de las características propias de las captaciones donde se tomaron las muestras : por parte del medio hidrogeológico aludiremos a los datos proporcionados por el reconocimiento geológico regional efectuado; por parte del régimen de las aguas subterráneas es preciso tener en cuenta el carácter subvertical de los tubos de flujo en estas áreas de recarga; finalmente, el grado de penetración de los pozos en la zona saturada y la disposición de los tramos filtrantes menos profundos -puesto que el flujo es descendente- serán los factores con que incidirán las características de las captaciones.

Los valores menos negativos de  $\int^{18}O$  son los de las muestras 24, 26 y 28 -desde -7,16 a -7,24-; corresponden a pozos que penetran poco en la zona saturada o que presentan tramos filtrantes desde prácticamente la superficie del terreno. Son muestras, pues, procedentes de ámbitos poco profundos de la zona saturada; la buena constancia de los valores avala esta precisión.

Las muestras 1, 6, 7 y 20 presentan valores de  $\int^{18}O$  más negativos -desde -7,53 a -7,89-; corresponden a pozos más penetrantes -por más profundos- en la zona saturada; además, los primeros tramos filtrantes con referencia a la superficie topográfica están situados a apreciable distancia de la línea de saturación, naturalmente por debajo de ella. Puede concluirse en que son muestras procedentes de ámbitos más profundos de la zona saturada.

Finalmente las muestras 9, 11, 13 y 15 muy



## 390

próximas entre sí, como puede comprobarse en el plano que estamos comentando, presentan unos valores ligeramente aún más negativos que los de las muestras del párrafo anterior : desde -7,94 a -8,08; aunque las mismas consideraciones que allí se hicieron en cuanto a penetración en la zona saturada y situación de tramos filtrantes son aplicables aquí, la buena constancia de los valores, su ligeramente mayor negatividad y la agrupación espacial de los pozos donde se tomaron las muestras podrían indicar, a nuestro juicio, una discontinuidad local en los valores de permeabilidad.

Vimos, en efecto, en el apartado 3.3.3.2.3. como en el área Navalcarnero - Valmojado las descripciones litológicas de los detritus de los pozos profundos acusaban la existencia, hacia el techo de la unidad Tosco (ver plano 3.1), de un conjunto muy arcilloso y homogéneo de 15 a 20 m. de espesor que se podía diferenciar bastante bien tanto de los materiales infrayacentes de esa misma unidad, como de la suprayacente unidad Navalcarnero.

Algunas de las descripciones litológicas que utilizamos para poner de manifiesto esta anomalía litológica local corresponden a los pozos donde tomamos las aludidas muestras 9, 11, 13 y 15 : de esta forma podrían explicarse sus valores algo más negativos respecto a otras muestras procedentes de ámbitos semejantes en cuanto a profundidad de la zona saturada (muestras 1, 6, 7 y 20).

Muy posiblemente el valor medio de  $\delta^{18}O$  del agua de las precipitaciones acaecidas durante los meses en que es posible la recarga (invierno) sea parecido,

aunque algo menor, al valor observado en las muestras procedentes de zonas poco profundas del acuífero (muestras 24, 26 y 28). Desgraciadamente carecemos de datos del contenido en  $^{18}\text{O}$  de las precipitaciones actuales que se producen sobre el área de la Meseta; en la Península Ibérica solo hay por el momento una estación de toma de muestras del agua de las precipitaciones para esos fines, que es la de Gibraltar; independientemente de lo incompleto de la serie de datos, esta estación tiene un marcado carácter "oceánico", por lo que aquéllas no son interpolables a las regiones centrales de la Península.

Resumiendo pues, creemos que ha quedado bien sentado como en las áreas de interfluvio, las aguas subterráneas procedentes de ámbitos más profundos de la zona saturada muestran una composición isotópica algo más "ligera" que las procedentes de ámbitos más próximos a la línea de saturación; todo ello a pesar de la muy probable mezcla producida en el mismo pozo de bombeo.

#### 10.2.2.- Variación vertical del contenido isotópico de las aguas subterráneas en áreas de transición ("mid-line")

Vimos anteriormente como las zonas de transición, -donde las líneas de corriente tienden a adoptar una disposición horizontal- eran las áreas más apropiadas para establecer los límites entre sistemas de flujo, ante la subsiguiente horizontalidad también de estos. Desgraciadamente no han podido tomarse demasiadas muestras en este tipo de áreas; además lo realmente interesante es tomar muestras en dos pozos próximos con diferente grado de penetración en la zona saturada y sobre

todo muy diferente disposición de las zonas filtrantes en ambos.

Tal ocurre entre los pozos 558-5-6 y 558-5-17 (ver plano 9.2 y anexo I) (muestras número 3 y 5, respectivamente); puede verse como el agua procedente del primero, poco penetrante en la zona saturada, es más "pesada" ( $-7,19$  ‰) que la del segundo ( $-7,82$  ‰), un pozo de 125 metros de profundidad cuyos primeros 30 metros son de tubería ciega.

Asimismo, en el extremo sur-occidental de la región de estudio, la muestra tomada en el pozo 602-8-1 (muestra n°17) es más negativa ( $\delta^{18}\text{O} = -7,80$ ) que las muestras 26 y 28 tomadas en pozos próximos ( $\delta^{18}\text{O} = -7,16$  y  $-7,24$ , respectivamente); nuevamente se comprueba como el pozo 602-8-1 es de mayor profundidad y presenta los primeros tramos filtrantes más bajos que los de los dos pozos antedichos.

Vuelve pues a observarse aquí como las muestras procedentes de tramos más profundos del acuífero presentan un contenido en isótopos estables inferior al de tramos más próximos a la superficie topográfica.

#### 10.2.3.- Caracterización isotópica de áreas de descarga

Ante la nuevamente trayectoria vertical -ascendente de las líneas de corriente, estas áreas no son adecuadas para establecer los límites entre sistemas de flujo; máxime si, como en nuestro caso, las muestras se han tomado en pozos reales de bombeo, con toda la secuela ya comentada de mezclas en el propio pozo.

## 393

A pesar de todo las muestras tomadas en tres pozos próximos al fondo de los valles del Alberche y Perales -las numeradas como 2, 10 y 19- han dado un valor de  $\delta^{18}\text{O}$  sensiblemente más negativo que las muestras ya comentadas de las áreas de recarga y transición de los apartados anteriores : -8,89, -8,24 y -8,78, respectivamente.

Aunque los tres pozos tienen una profundidad más o menos semejante, el menor valor de  $\delta^{18}\text{O}$  de la muestra 10 respecto a las otras dos puede explicarse si se tiene en cuenta que la diferencia de cota topográfica entre la boca del pozo y el thalweg del río propiamente dicho, siendo nula o muy pequeña en los pozos de las muestras 2 y 19, es algo mayor en este caso; es decir, el pozo de la muestra 10 alcanza ámbitos menos profundos de la zona saturada a la vez que su carácter de pozo de descarga, aunque nítido, es menos acusado. En cualquier caso es muy posible que las condiciones de las tomas de muestras, en el sentido ya aludido del tiempo transcurrido entre la puesta en marcha del pozo y el instante de la toma, hayan tenido influencia.

En el área de descarga de Maqueda han sido determinadas las muestras 21, 27 y 23; los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  obtenidos son menos negativos que los de las muestras de los pozos emplazados en el fondo del valle de esa misma áreas - -7,64, -8,19 y -8,52 frente a -8,78 de la muestra 19 . Esto de por sí ya es congruente con la hipótesis de evolución del contenido en oxígeno-18 esbozada hasta ahora y con la evolución geoquímica propuesta (ver Fig.9.5.).

Comparando esas tres muestras entre sí (ver el perfil hidrogeológico del plano 5.4.) resulta lógica la gradación manifestada por los valores de  $\delta^{18}\text{O}$ : el pozo donde tomamos la muestra 21 es un pozo de unos 100 metros de profundidad mientras que la muestra 22 es una perforación de pequeña profundidad. Por estar más próximo al interfluvio, el valor de  $\delta^{18}\text{O}$  de la muestra 23 debería ser menos negativo que el de las muestras 21 y 22; no obstante el valor obtenido - -7,64- nos parece un poco excesivo: precisamente, por no funcionar la maquinaria de elevación, tuvimos que tomar la muestra del agua que rezumaba del pozo, que es debilmente surgente, y puede que ello llevara consigo un cierto fraccionamiento isotópico debido a evaporación.

10.2.4.- Caracterización isotópica de las aguas subterráneas entre el curso de los ríos Alberche y Perales y el macizo cristalino septentrional.

En la zona aludida, la distribución de potencial hidráulico de las aguas subterráneas (planos 5.1, 5.2, 5.3, 5.5, 5.6 y 5.7) indicaba un pequeño gradiente, lo que debía de traducirse en un lento movimiento del fluido a través del medio. Ello estaba totalmente de acuerdo con el intenso cambio iónico deducido de los datos de los análisis físico-químicos de las aguas subterráneas de esta zona; vimos en el capítulo 8 como los efectos de aquél fenómeno modificador se hacían notar acusadamente aún en áreas de descarga próximas a las de recarga.

Los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  de las muestras 4, 8, 18 y 16 son poco diferentes de los que se observan en las áreas de la divisoria Alberche-Guadarrama o Alberche-Ta

jo; no obstante los pozos donde se tomaron responden con claridad al calificativo de descarga : aunque debilmente, todos ellos son surgentes.

A pesar de que el flujo es lento -lo que favorece el desarrollo del cambio de bases-, el corto recorrido de las líneas de flujo motivado por la reducida distancia entre el thalweg del río y el límite de la unidad terciaria, hace que el contenido en oxígeno-18 de las aguas subterráneas no sea diferente del observado en áreas de recarga bien definidas.

10.2.5.- Caracterización isotópica de las aguas subterráneas salobres de la zona de confluencia Alberche-Tajo.

Desgraciadamente, por el momento solo disponemos de dos determinaciones en el área comentada, numeradas como 25 y 27; esta última presenta el valor de  $\delta^{18}\text{O}$  más negativo de todos los obtenidos : -9,14. Los dos pozos donde se han tomado las muestras -627-3-18 y 627-3-46 - están emplazados en la divisoria Alberche-Tajo, donde un flujo estrictamente local, del que podría ser representante las muestras 24 -  $\delta^{18}\text{O} = -7,23$ -, se sobreimpone a un flujo más profundo, tal como mostramos en el perfil hidrogeológico del plano 5.9.

Siendo las características de profundidad y de situación de tubería filtrante muy semejantes en ambos pozos, el diferente contenido en oxígeno-18 se explicaría por las distintas condiciones en que tomamos ambas muestras : la muestra 27 se tomó tras un período ininterrumpido de bombeo de unas 20 horas, mientras que con la muestra 25 el bombeo previo apenas duró 15 minu-

tos. En esa situación, la primera podría representar el contenido en oxígeno-18 de las aguas subterráneas del flujo más profundo, mientras que en la segunda hay un mezclado entre aquéllas y las del sistema estrictamente local.

Una determinación de carbono-14 y tritio precisamente en el pozo donde se tomó la muestra 25, es el argumento concluyente para poner de manifiesto este mezclado de aguas en el propio pozo de bombeo. Debemos advertir que las condiciones de la toma de la muestra para la determinación del contenido en isótopos ambientales radiactivos, no fueron por desgracia idénticas a las de la toma para los isótopos ambientales estables, pero sí muy parecidas.

El contenido en tritio fue de 9,2 U.T. (unidades tritio), con una indeterminación de  $\pm 1,9$ . Como se sabe, las aguas con menos de 2 U.T. son anteriores a 1.954, indicando ese bajo contenido una proporción muy pequeña de aguas recientes (Custodio, E. en Custodio, E. y Llamas, M.R., 1.976); no es este evidentemente el caso de nuestra determinación.

La determinación del contenido en radiocarbono indicó una actividad específica de  $11,3 \text{ d.p.m.gr}^{-1}$  (desintegración por minuto por gramo de carbono), con un porcentaje de carbono moderno del 73,86%; la imposición de un flujo estrictamente local a un sistema de flujo más profundo de aguas subterráneas en esta zona creemos que es clara.

Recientemente hemos efectuado una toma de muestras en un conjunto de piezómetros "perfectos" emplaza-

## 397

dos en este área; los resultados de las determinaciones -aún desconocidos- nos ayudarán a caracterizar con más precisión el contenido isotópico del sistema de flujo profundo, al anular el efecto del sistema de flujo local sobreimpuesto.

10.3.- RELACION DEL CONTENIDO EN OXIGENO-18 CON EL QUÍMICO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.

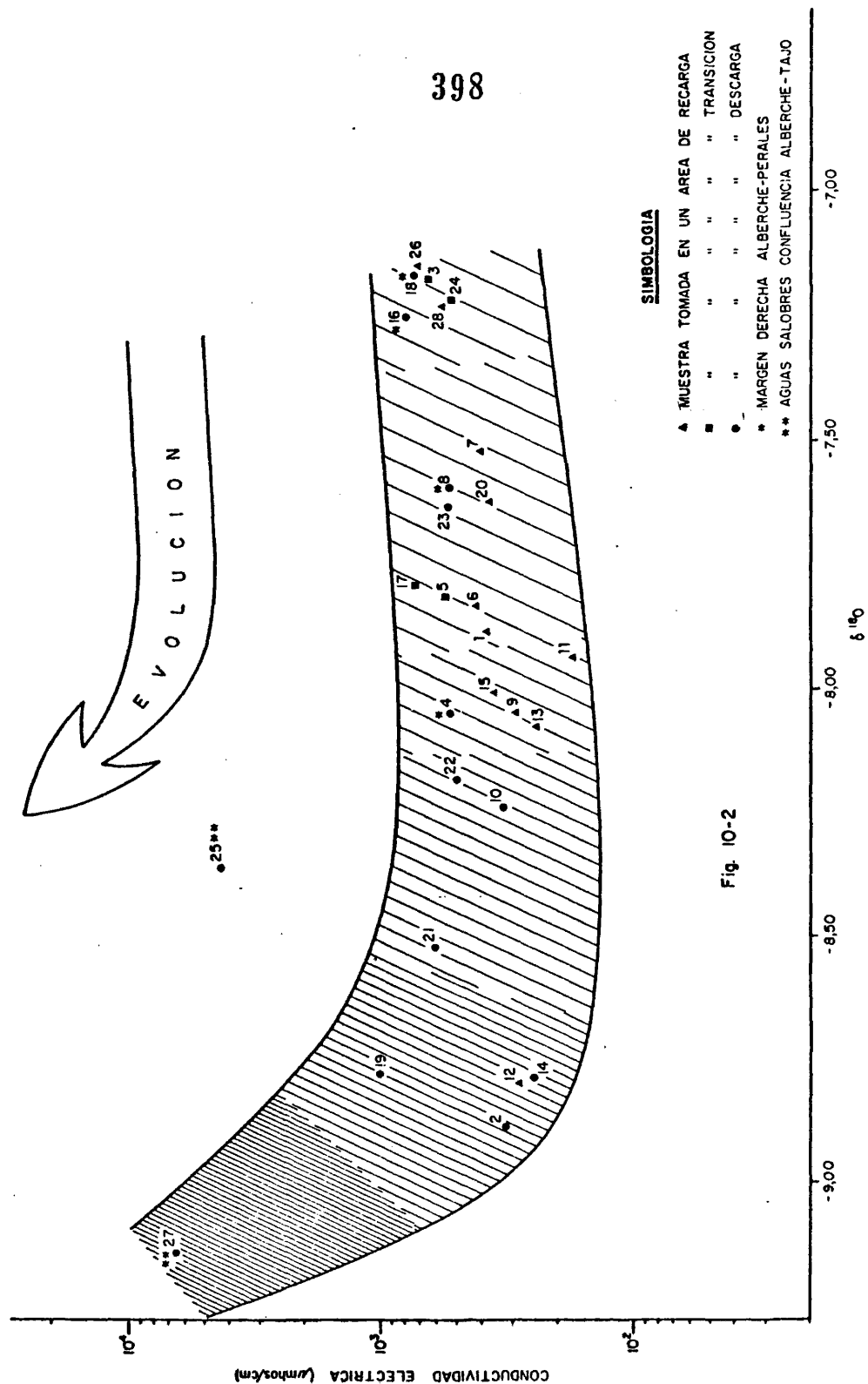
En la figura 10.2 se representa en abcisas -en escala lineal- el valor de  $\delta^{18}\text{O}$  de las aguas subterráneas y en ordenadas -en escala logarítmica- la conductividad eléctrica.

Se observa como todos los puntos resultantes se disponen en una franja que adopta una cierta concavidad; de derecha a izquierda los símbolos representantes de muestras tomadas en pozos emplazados en áreas de recarga de aguas subterráneas (▲) van siendo sucedidos por los de descarga (●); entre ambos se sitúan los correspondientes a zonas de transición (■) -puntos 5 y 17-. En ese mismo sentido, los valores de conductividad eléctrica -que, como se sabe, guardan una relación directa con el contenido mineral en disolución del agua- muestran al principio un ligero descenso conforme los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  son más negativos para aumentar un tanto bruscamente al final.

En la mencionada franja pueden individualizarse un conjunto de tramos :

- En los tramos 1, 2 y 3 se agrupan las muestras tomadas en áreas de recarga y de transición. En el tramo 1 están representadas las muestras 3, 24, 26 y 28, todas ellas procedentes -como dijimos en los apartados ante-





riores- de ámbitos de la zona saturada próximos a la línea de saturación; en el tramo 2 se disponen las muestras 1, 6, 7 y 20, de áreas de recarga, y 5 y 17, de zonas de transición; por último en el tramo 3 aparecen las muestras 9, 11, 13 y 15, aquéllas cuyo ligeramente menor valor de  $\delta^{18}\text{O}$  podría ser reflejo de una menor permeabilidad.

- En el tramo 4 se disponen las muestras tomadas en pozos emplazados en áreas de descarga más o menos alejadas del fondo del valle; tienen aquí representación las muestras 10, 21 y 22, estas dos últimas tomadas en pozos emplazados en el área de descarga de Maqueda; debería tener representación en este sector la muestra 23, tomada también en este área de descarga : no obstante en el apartado 10.2.3. ya sugerimos la posibilidad de un fraccionamiento isotópico por evaporación en el mismo punto de muestreo y de ahí su representación anómala en el sector 2 debido al enriquecimiento isotópico producido.

- Las muestras 2, 14 y 19 del sector 5 corresponden a pozos emplazados en el fondo del valle. El valor de  $\delta^{18}\text{O}$  de la muestra 12 fue obtenido bajo condiciones de funcionamiento deficiente del espectrómetro de masas y debe ser considerado claramente como anómalo.

- En el sector 6 tiene representación la muestra 27, correspondiente a uno de los pozos que captan agua salobre en el área de confluencia Alberche-Tajo; la muestra 25, también tomada en este mismo área, aparece desligada de la banda general : como comentamos en el apartado 10.2.5., el flujo estrictamente local sobreimpuesto -del que podría ser representante la muestra 24-, y las condiciones de la toma de la muestra, serían responsables de este punto "anómalo".

- Las muestras 18, 16, 8 y 4, señaladas con un asterisco en la figura 10.2, aparecen dispuestas en los tramos 1, 2 y 3; son las muestras de los pozos emplazados entre el valle del Alberche y Perales y el contacto con el macizo cristalino septentrional. Como ya dijimos en el apartado 10.2.4., a pesar de que los pozos donde se tomaron las muestras citadas responden con claridad al calificativo de descarga, el corto recorrido de las líneas de corriente hace que el contenido en oxígeno-18 de las aguas subterráneas no sea diferente del observado en las muestras de los pozos de las áreas de divisoria Alberche-Guadarrama o Alberche-Tajo.

Es clara la evolución de las aguas subterráneas desde las áreas de recarga de los sectores 1, 2 y 3 a las de descarga de los sectores 4 y 5 : el contenido en oxígeno-18 aumenta regularmente desde valores de  $\delta$  próximos a -7,20, a -8,70; la conductividad eléctrica por el contrario acusa con una ligera tendencia descendente los fenómenos de intercambio iónico de calcio y magnesio por sodio que dominan la citada evolución en su aspecto geoquímico : en el apartado 9.3.2. dimos una posible explicación de este descenso de la conductividad ante los fenómenos de intercambio iónico.

En los sectores 5 y 6  $\delta^{18}\text{O}$  continúa separándose -negativamente- de cero; en sus aspectos químicos, los procesos de puesta en solución sustituyen a los de intercambio iónico y de ahí el nítido y brusco incremento de la conductividad eléctrica.

X X X X X

## 401

En la figura 10.3. se representa igualmente en abscisas, y en escala lineal, el valor de  $\delta^{18}\text{O}$ ; en ordenadas, en escala logarítmica, se representa el índice aniónico  $r(\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{=}) / r.\text{CO}_3\text{H}^-$ . Al igual que en el caso de la Fig.10.2., todos los puntos se disponen en una banda en todo semejante a la de aquélla figura; los mismos sectores 1 a 6 allí considerados pueden establecerse aquí, agrupando exactamente a las mismas muestras. Idénticas consideraciones a las que allí hicimos son válidas aquí en todo momento. Cabría solo indicar como las muestras 18, 16, 8 y 4 tienden a disponerse más hacia el límite -e incluso fuera- de la citada banda, como consecuencia de un mayor índice aniónico.

A diferencia del caso anterior no se observa tendencia descendente de la banda entre los sectores 1 y 5, ámbito donde los procesos de intercambio iónico dominan la evolución geoquímica de las aguas subterráneas desde las áreas de recarga a las de descarga; los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  se hacen cada vez más negativos sin variación importante del índice aniónico.

X X X X X

Finalmente en la figura 10.4 se asocian  $\delta^{18}\text{O}$  y el índice de desequilibrio (I.D.D.), ambos en escala lineal. En la banda que comprende la mayor parte de los puntos obtenidos, también con una patente concavidad, hemos señalado un conjunto de sectores que a continuación comentaremos :

- El sector A agrupa a los mismos puntos de los sectores 1 de las figuras anteriores, es decir, a las muestras que, tomadas en áreas de recarga o de transición, proceden de ámbitos poco profundos de la zona saturada; el

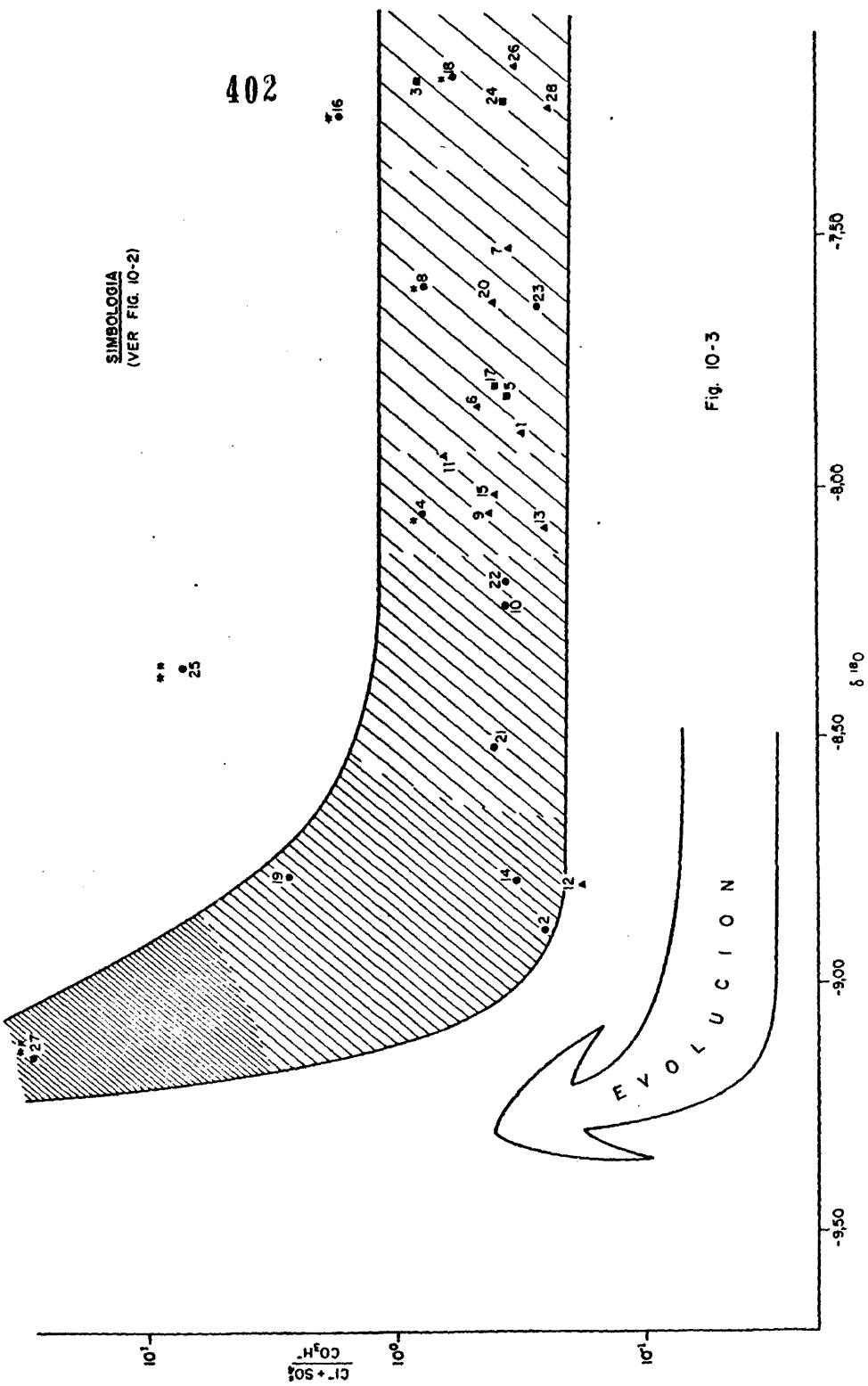


Fig. 10-3

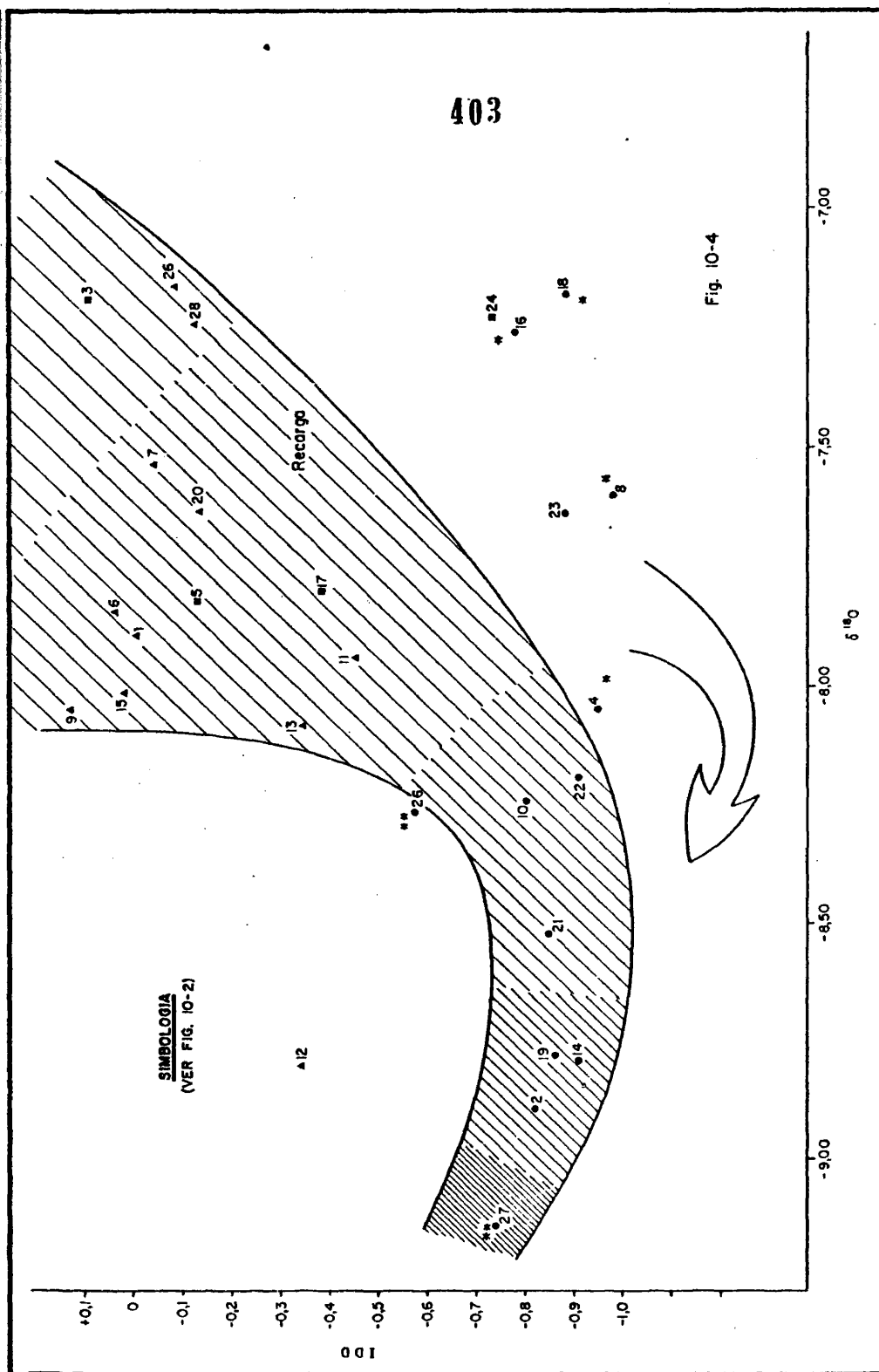


Fig. 10-4

I.D.D. está próximo a 0 y  $\delta^{18}\text{O}$  presenta los valores menos negativos. La muestra 24, por presentar un I.D.D. distinto de 0, queda fuera del sector citado.

- El sector B agrupa a los puntos representados en los sectores 2 y 3 de las figuras 10.2 y 10.3

- En el sector C están representadas las muestras procedentes de pozos emplazados en áreas de descarga de aguas subterráneas más o menos alejadas del fondo del valle; se corresponde por tanto con el sector 4 de las figuras mencionadas.

- Los puntos 2, 14 y 19 del sector D son los mismos del sector 5 de antes.

- El único punto -señalado con dos asteriscos- del sector E es la muestra 27 tomada en un pozo situado en el área de confluencia Alberche-Tajo. Otra muestra, la n° 25, tomada en esta misma área, está representada fuera de la banda.

- Los puntos 4, 8, 16 y 18, señalados con un asterisco, son las muestras de los pozos situados en la vertiente derecha de la cuenca de los ríos Alberche y Perales. Aparecen aquí más claramente individualizados que en las figuras 10.2 y 10.3.

Los tramos A, B, C y parte del D son de dominio claro de los fenómenos de intercambio iónico sobre cualquier otro fenómeno modificador : el I.D.D. pasa de valores comprendidos entre 0 y -0,40 a valores entre -0,80 y -0,90;  $\delta^{18}\text{O}$  lo hace de valores entre -7,20 y -8,00 a valores de -8,25 a -8,70. Como ya hemos dicho, ante los procesos de puesta en solución, que elevan globalmente el contenido iónico en disolución, el I.D.D. tiende a disminuir, manteniendo su tónica decreciente los valores de  $\delta^{18}\text{O}$ ; de ahí la concavidad de la banda ante la regresión de los valores de aquél índice químico.

405

CAPITULO 11

ALGUNOS ASPECTOS PRACTICOS DEL ESTUDIO



### 11.- ALGUNOS ASPECTOS PRACTICOS DEL ESTUDIO

Se abordan en este capítulo algunos aspectos prácticos acerca de la explotación de las aguas subterráneas de la región estudiada; se hará un escueto comentario de la demanda de agua para usos domésticos e industriales y agrícolas y se analizará brevemente la incidencia de las características constructivas en la eficiencia de las captaciones.

#### 11.1.- UTILIZACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN LA CUENCA TERCIARIA DEL ALBERCHE.

En la actualidad 29 municipios del área estudiada o próximos a ella sufren, particularmente en la época veraniega, un abastecimiento insuficiente de agua potable (S.G.O.P., C.A.T. y E.N.A.D.I.M.S.A., 1.976); entre ellos destacan por su importancia Torrijos y Malpica de Tajo, y se prevén situaciones semejantes a corto plazo en Talavera de La Reina, Navalcarnero y Valmojado.

En la gran mayoría de los municipios englobados en nuestra región de estudio, el abastecimiento de agua para usos domésticos se ha tratado de solucionar mediante aguas subterráneas.

La resolución del problema era árdua para los núcleos urbanos emplazados junto a las zonas de interfluvio de no contar con la posibilidad de construir el pozo por procedimientos mecánicos : es en estas áreas donde, como ya hemos visto, la zona no saturada alcanza un mayor espesor, lo que implica perforar un mayor número de metros para alcanzar la zona saturada; ello se traducía

en alcanzar profundidades considerables para los métodos manuales de perforación. La segunda posibilidad era emplazar el pozo en áreas topográficamente más bajas, con lo que se conseguía alcanzar a menor profundidad la zona saturada; sin embargo aparecía el problema de la conducción hasta el punto de consumo así como -sobre todo- contar con la maquinaria de elevación precisa.

Es digno de destacarse aquí el caso de la Villa de Navalcarnero situada " ... en un sitio de considerable altura, con lo que, si bien ganó en salubridad y en la belleza del panorama, ... perdió naturalmente en otras condiciones, y entre ellas, como más importante, la abundancia de aguas que, por lo general, solo en los terrenos de bajo nivel existen". (Morena y Valle, J. de la, et al., 1.876).

Colocado en la silla presidencial del municipio D. Jacinto González Ruiz-Medrano, se preocupó desde el primer momento en solucionar el abastecimiento de agua potable; tras su destitución después del pronunciamiento militar del general Arsenio Martínez Campos en Sagunto en 1.874, que acaba con la República "de Serrano", las iniciativas tomadas no encontraron continuación, por lo que el citado personaje decidió llevarlas a la práctica por cuenta propia : compró el terreno que los trabajos de exploración habían señalado como más adecuados, construyó "una noria del sistema moderno" (?) (Morena y Valle, J. de la, 1.876), y, con la colaboración del ingeniero Montenegro, hizo instalar una bomba de las inventadas por éste, al objeto de salvar la distancia de os Kilómetros y la diferencia de cota de 80 metros que separaban la captación del paraje más elevado del núcleo urbano. El éxito fué rotundo.

Sin embargo, a causa de envidias y rencillas, los habitantes del pueblo dejaron de utilizar la obra "para que no enriqueciera a su propietario" (Bentabol, H., 1.906) que murió arruinado tras las grandes pérdidas que el negocio le causó, lo que le había obligado a cederlo al Ayuntamiento en 1.891. Aún puede verse en el parque municipal de Navalcarnero la placa conmemorativa de la cesión, como mostramos en la Fig.11.1.

X X X X X

De acuerdo con S.G.O.P., C.A.T. y E.N.A.D.I.M.S.A., (1.976) las demandas de agua totales en el área estudiada se cifran, con referencia a 1.970, en unos 230  $\text{Hm}^3$ , que se preveen pasen a ser a unos 260  $\text{Hm}^3$  en 1.985 y a 350-420  $\text{Hm}^3$  en el año 2.000 si es que se ejecutan los planes de regadío previstos.

La demanda de agua para abastecimiento e industria deberá pasar de los 17  $\text{Hm}^3$  anuales de 1.970 a 31-36  $\text{Hm}^3$  en 1.985 y 50-65 en el año 2.000, que en porcentajes suponen el 7, 13 y 15 % de la demanda total, respectivamente. De esos 17  $\text{Hm}^3$  de 1.970, 5  $\text{Hm}^3$  eran aguas subterráneas.

En las épocas estivales, las demandas para satisfacer las necesidades de la población turística flotante crecen de forma importante; así en algunas zonas (S.G.O.P., C.A.T. y E.N.A.D.I.M.S.A., 1.976) las necesidades de agua en el mes de Agosto -en 1.970- son dobles que las precisadas desde los meses de octubre a mayo.

La evolución prevista de la demanda de agua para usos urbanos e industriales se debe en primer lugar

al crecimiento urbano e industrial del núcleo de Talavera de La Reina, que de los 4,5 Hm<sup>3</sup> de agua precisados para satisfacer su demanda en 1.970, se deberá pasar a 15-16 Hm<sup>3</sup> en 1.985 y a 31-36 Hm<sup>3</sup> en el año 2.000.

Logicamente el consumo de agua para usos agrícolas es muy superior al de usos urbanos e industriales: 93% frente a 7% en 1.970. El bombeo de aguas subterráneas con aquel fin supuso en 1.970 unos 35 Hm<sup>3</sup> (S.G.O.P., C.A.T. y E.N.A.D.I.M.S.A., 1.976); dicho bombeo se produce en general desde los meses de Mayo a Septiembre.

Como conclusión podemos decir que la utilización de las aguas subterráneas se ha incrementado acentuadamente en los últimos cinco o seis años, lo que prueba su valor económico. Estas aguas son particularmente adecuadas para satisfacer las acusadas puntas de consumo estival debido a la incidencia de la población turística, población que dicho sea de paso suele exigir unas dotaciones muy superiores a las normales de un determinado municipio debido a sus hábitos de un más alto nivel de vida y a los usos recreativos y deportivos que se hacen del agua.

Al mismo tiempo, un sobrebombeo de aguas subterráneas puede ejercer un papel de solución "puente" de un determinado problema de abastecimiento hasta que otras obras más costosas en tiempo y dinero puedan emprenderse o finalizarse.



Fig.11.1. : Homanaje a D. Jacinto González Ruíz-Medrano. Navalcarnero; parque municipal. Madrid.

#### 11.2.- INFLUENCIA DE LAS CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS EN LA EFICIENCIA DE LAS CAPTACIONES.

De acuerdo con Custodio, E. (en Custodio, E. y Llamas, M.R.) de las diversas causas que originan el descenso en los pozos, son las llamadas pérdidas de penetración en el pozo -o efecto parietal- las que están íntimamente relacionadas con las características de la captación.

López Camacho, B. (1.975) es el primer autor que utiliza los métodos estadísticos en el análisis de la eficiencia de las captaciones emplazadas en los materiales terciarios de la Cuenca de Madrid; algunas consideraciones en torno a esto último son hechas por López

## 411

Vera, F. (1.975). Rebollo, L. y Villarroya, F. (1.976) y Villarroya, F. y Rebollo, L. (1.976), analizan la cues ti ón en las cuencas de los ríos Guadarrama y Henares, respectivamente; más recientemente López Vera, F. y Llamas, M.R. (1.976) y Llamas, M.R. y López Vera, F. (1.977) se han ocupado específicamente de ello.

Debemos decir, en cualquier caso, que ninguno de los trabajos antedichos ha alcanzado en lo que a exten sión geográfica se refiere, a nuestra región de trabajo, posiblemente por encontrarse algo alejada del Area Metropolitana de Madrid y también por haberse iniciado su estudio algo después del de las restantes subcuencas instaladas en la depresión terciaria.

En el plano 4 mostrábamos la distribución espa cial de los 172 valores de caudal específico obtenidos a lo largo de la realización del inventario de puntos de agua; como comentábamos en el apartado 4.2.2., en dicha distribución se podía entrever una cierta zonalidad que encajaba perfectamente con el modelo del medio de sedimentación. En este apartado se estudiará brevemente la relación de esos valores de caudal específico con el pro cedimiento constructivo de los pozos donde dichos valores han sido obtenidos.

El método de perforación, el tipo de rejilla y el sistema de desarrollo parecen ser los factores que más deberían influir en los caudales específicos de los pozos (López Vera, F. y Llamas, M.R., 1.976). En la figura 11.2 mostramos la relación entre los dos primeros factores citados y el caudal específico :

- Los pozos contruídos por el procedimiento de percu-

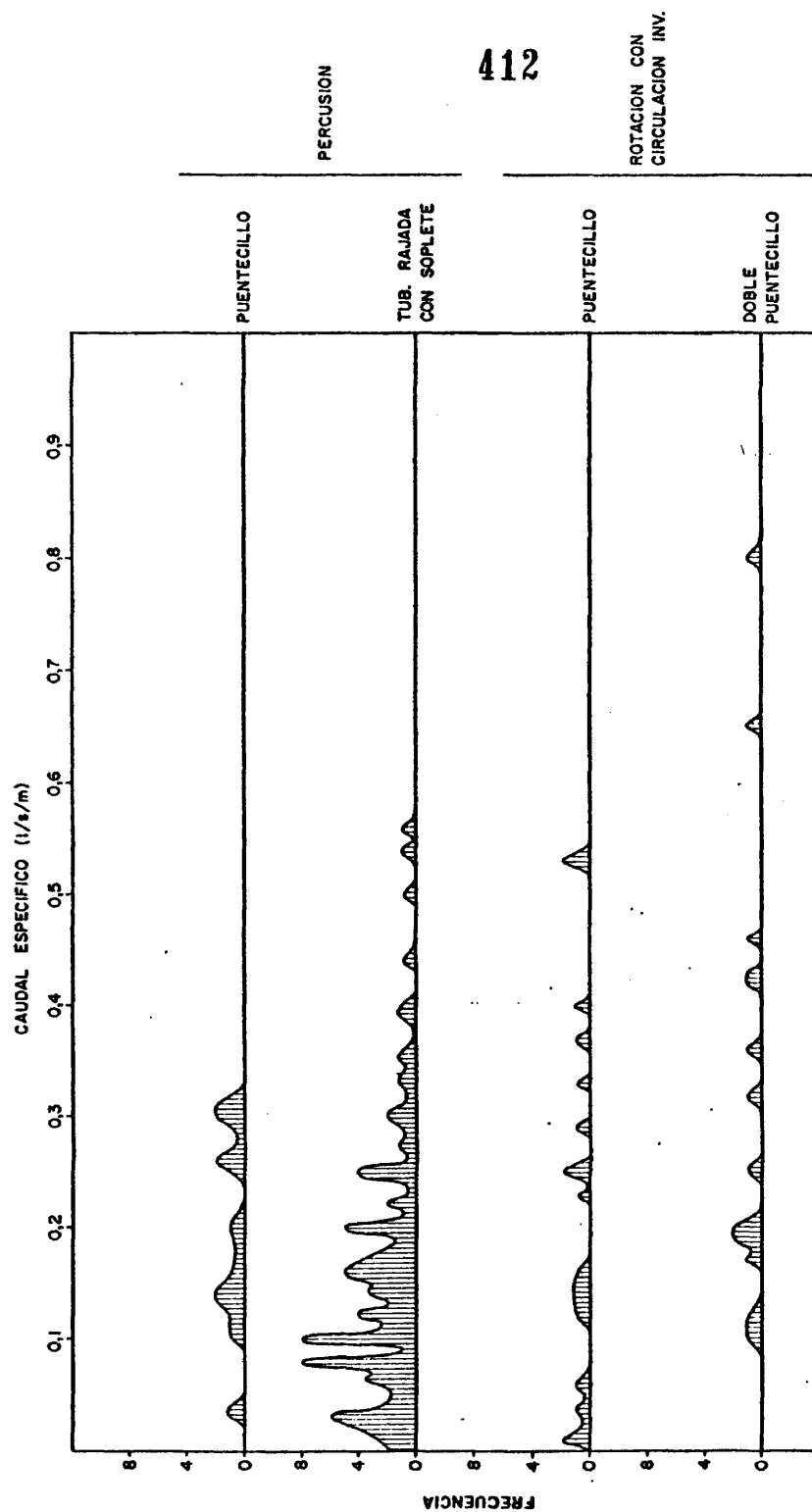


Fig. 11-2.- RELACION DEL CAUDAL ESPECIFICO CON LA TECNICA DE CONSTRUCCION Y EL TIPO DE TUBERIA FILTRANTE EMPLEADA.

## 413

sión son mucho más numerosos que los contruídos por rotación con circulación inversa, que prácticamente quedan circunscritos a la provincia de Madrid : al nivel económico de la parte contratante como condicionante del procedimiento de perforación utilizado (López Vera, F. y Llamas, M.R., 1.976) habría que sumar su nivel cultural.

- Los más altos caudales específicos conocidos corresponden a pozos contruídos a rotación con circulación inversa; igualmente, los valores más bajos aparecen agrupados en el sector correspondiente a la perforación a percusión.

- No se observan diferencias entre la utilización de tubería filtrante de "doble puentecillo" (filtro "duplex") y tubería filtrante de "puentecillo" simple en el procedimiento de perforación a rotación con circulación inversa. Si parece haber cierta diferencia, por el contrario, entre utilizar tubería filtrante de "puentecillo" y tubería rajada -generalmente con soplete- en el procedimiento de perforación a percusión, en el sentido de ser menos eficiente estos últimos pozos.

La incidencia del método de perforación concuerda con las observaciones de López Camacho, A., 1.975 y Rebollo, L. y Villarroja, F. (1.976); no obstante López Vera, F. y Llamas, M.R. (1.976) y Llamas, M.R. y López Vera, F. (1.977) no encuentran al parecer una relación clara entre el caudal específico y el procedimiento constructivo de los pozos. La influencia del tipo de tubería filtrante, en nuestro caso, se revela nula en la perforación a rotación con circulación inversa; sin embargo no puede decirse lo mismo en la perforación a percusión entre la tubería ranurada con soplete y el filtro de "puentecillo".

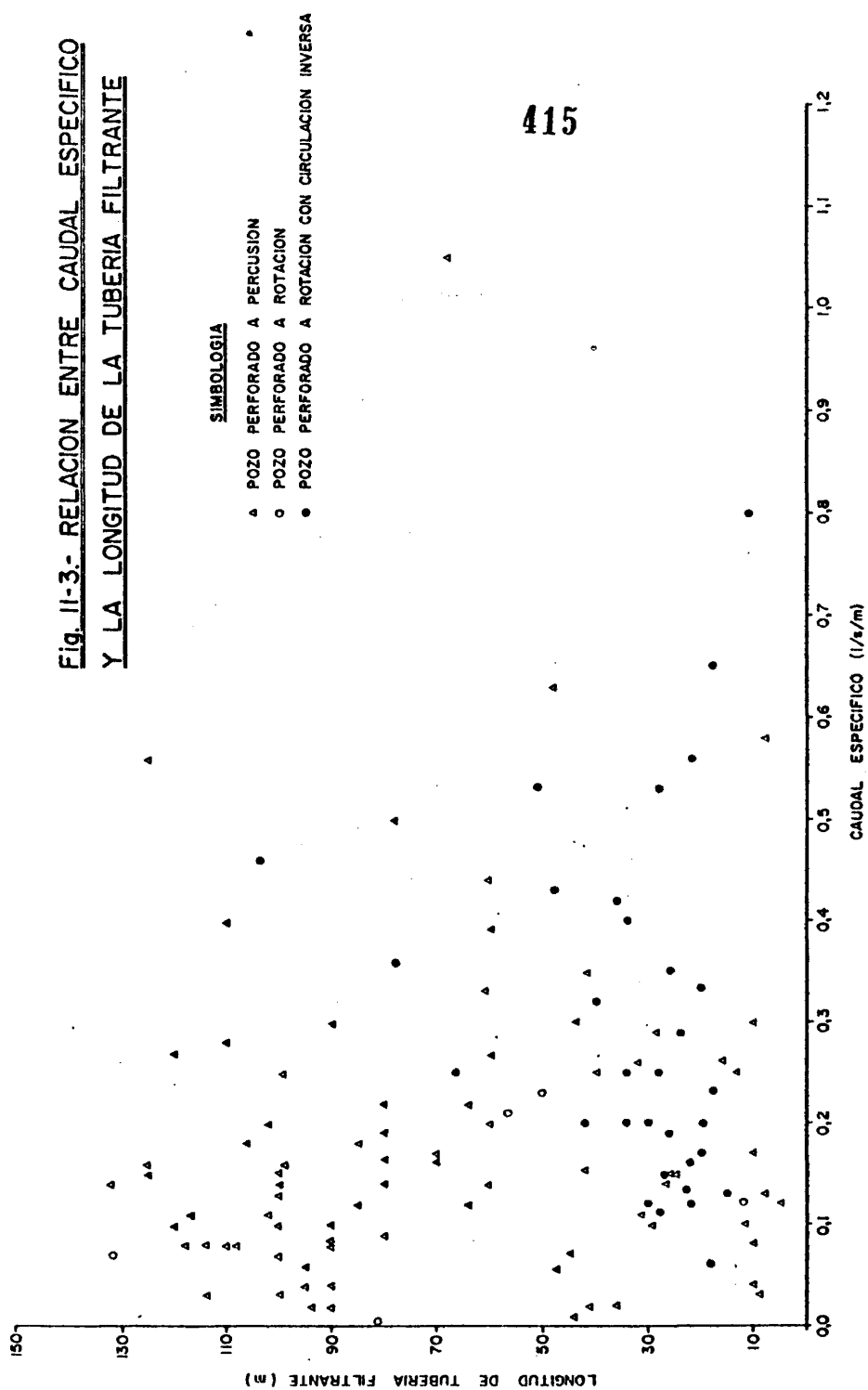


La relación entre el caudal específico y la longitud de tubería filtrante puede verse en la figura 11.3., en la que se indica también el procedimiento constructivo mediante la simbología propuesta. Puede observarse como son los pozos construidos a rotación con circulación inversa los que obtienen caudales específicos más elevados con menor longitud de tubería filtrante; por el contrario, los pozos construidos a percusión muestran una clara tendencia a necesitar una longitud de tubería filtrante de dos a tres veces mayor para obtener el mismo caudal específico; esto es más evidente en los pozos perforados a percusión que utilizan la propia entubación ranurada con soplete como tubería filtrante. Por poco numerosos, los pozos perforados a rotación con circulación directa no los hemos considerado.

Al comentar globalmente todos estos resultados es preciso hacer dos advertencias previas : por un lado, que no hemos considerado individualmente los datos procedentes de cada una de las dos zonas que se deducían de la distribución espacial de caudales específicos (plano 4); por otro, no se ha considerado la influencia del sistema de desarrollo de las captaciones.

Parece no haber duda de que es el medio sedimentario el primer y más importante condicionante de la eficiencia de las captaciones construidas en nuestra región de estudio : a esta conclusión han llegado todos los autores antes mencionados. La gran heterogeneidad del sedimento y la inexistencia en él de granoselección eran responsables del bajo rendimiento de las captaciones en las proximidades de los macizos septentrional y meridional (subfacies proximal); los mejores caudales específicos que se observaban (plano 4) más hacia el interior de la cuenca

**Fig. II-3.- RELACION ENTRE CAUDAL ESPECIFICO  
Y LA LONGITUD DE LA TUBERIA FILTRANTE**



terciaria estarían relacionados con una mayor granoselección en virtud de los mecanismos de transporte y deposición de los materiales (subfacies media).

La influencia de las características constructivas parece ejercer un papel secundario aunque no despreciable. Nuestra opinión es que el procedimiento constructivo influye en el rendimiento de las captaciones más que por el procedimiento en sí, por el conjunto de operaciones que uno u otro llevan indefectiblemente consigo y que se traducen en un diferente nivel de acabado del pozo.

En este sentido, por ejemplo, la perforación a rotación con circulación inversa proporciona un conocimiento más detallado y preciso de los materiales atravesados que la perforación a percusión, lo cual es muy importante a la hora de dimensionar el tamaño correcto de la grava que constituirá el empaque así como para el adecuado emplazamiento de los tramos filtrantes y elección de sus características.

De esa forma, todas las anomalías positivas observadas en la banda de caudales específicos inferiores a 0,2 l/seg/m. del plano 4 corresponden a pozos contruidos por el procedimiento de rotación con circulación inversa de los fluidos de perforación; es decir, en aquellas zonas donde el acuífero presenta las peores condiciones desde el punto de vista del aprovechamiento de sus aguas subterráneas, una cuidada construcción, con un correcto dimensionado y emplazamiento de las zonas filtrantes unido a un depurado acabado del pozo debe logicamente originar una mayor eficiencia de aquéllos. Sin embargo, frente a unas mejores características del

acuífero, la eficiencia de las captaciones construídas a percusión tiende a igualar a las construídas a rotación con circulación inversa.

En gran parte de los pozos construídos por el procedimiento de percusión en nuestra región de estudio toda o casi toda la entubación es filtrante en virtud de las ranuras que, previamente a su introducción en la perforación, se hacen con un soplete en superficie. Esta práctica es desde luego desaconsejable por dos razones evidentes : el porcentaje de superficie abierta por metro de entubación es muy pequeño, lo que origina pérdidas de carga muy elevadas en el agua que pasa del acuífero al pozo; además, como se hace caso omiso de las características granulométricas de los materiales atravesados -o aún por atravesar- se suelen plantear problemas de entrada de materiales finos al pozo lo que se traduce frecuentemente en colmataciones y en un excesivo desgaste de la maquinaria de elevación por el efecto abrasivo de las partículas.

Otra práctica frecuente en la construcción de pozos por el procedimiento de percusión en nuestra zona es la utilización de la entubación definitiva como tubería de revestimiento. Hasta llegar a la zona saturada es frecuente que la perforación transcurra sin entubar; a partir de ese momento se suele colocar tubería de revestimiento durante algunos metros más; no obstante, el peligro a que dicha tubería quede aprisionada por las paredes del pozo, con el subsiguiente peligro de su pérdida ante la poca potencia que generalmente posee la maquinaria de perforación utilizada, hace que el constructor reduzca el diámetro de la perforación, introduciendo la entubación definitiva, que, como antes decíamos, asume

la misión de tubería de revestimiento : a partir de ese momento se perfora, con un trepano de menor diámetro, por el interior de esta nueva entubación.

Esto hace que el empaque de grava, sin entrar en la calidad y características de la grava utilizada, no ejerza en la práctica ningún papel puesto que queda enfrentado a la zona no saturada y a los primeros metros de la saturada, lo que unido al tipo de tubería filtrante utilizada -tubería rajada con soplete- hace que la entrada de finos a la captación sea casi constante. Además, a menudo es necesario golpear la entubación para que descienda, lo que suele provocar su rotura y combamiento, que llega a imposibilitar la introducción de la maquinaria de elevación del agua; en el caso de rotura, he ahí otra fuente de entrada de finos a la captación.

En la región estudiada se ha observado una disminución de la eficiencia de las captaciones en el área de Torrijos; todos los pozos donde esto ha podido observarse fueron contruídos a percusión y haciendo intervenir las desaconsejables prácticas enumeradas antes. Este descenso en la eficiencia podría deberse por tanto a la mala construcción de las captaciones y puede que también al descenso observado del nivel del agua en los pozos en los últimos diez años, posiblemente por efecto del bombeo de las aguas subterráneas.

No conocemos ningún caso de disminución de eficiencia de captaciones contruídas por el procedimiento de rotación con circulación inversa, lo cual no quiere decir que no exista alguno; en general las captaciones contruídas por este procedimiento en este área tienen una antigüedad inferior a tres años.

## RESUMEN Y CONCLUSIONES

### 1.- Introducción

- La región estudiada desde el punto de vista hidrogeológico es aquel sector de la cuenca hidrográfica del río Alberche desarrollado sobre los materiales terciarios y cuaternarios de la Cuenca de Madrid.
- Corresponde a la comarca del Retamar, y, administrativamente, se reparte entre las provincias de Madrid y Toledo. Abarca una extensión superior a los 1.500 km<sup>2</sup>.
- Geológicamente está situada en el límite sur-occidental de la Cuenca de Madrid, denominación que preferimos al de Depresión del Tajo.
- Nuestro estudio puede considerarse como el análisis de una estructura hidrológica, concepto que puede definirse como la manifestación de la interacción entre las propiedades físicas y químicas del agua subterránea (régimen del agua subterránea) y aquellos elementos de la geología, topografía y clima que afectan directa o indirectamente a aquél (ambiente o medio hidrogeológico).
- En ese sentido hemos orientado pues la metodología del trabajo en cuyo esquema pueden distinguirse dos partes bien diferenciadas : recopilación de datos por un lado, a partir de la consulta bibliográfica y muy especialmente de la realización del inventario de puntos de agua, y elaboración de los datos recopilados por otro.

### 2.- Antecedentes bibliográficos

- Se han consultado unos 350 trabajos de índole geológica e hidrogeológica sobre nuestra región y tema de estudio; creemos que la recopilación ha sido suficientemente

amplia, llegando a afectar a trabajos anteriores a 1.830.

- Desde el punto de vista geológico hemos tratado de seguir la evolución de las ideas sobre la Cuenca de Madrid; de esa forma hemos podido comprobar como algunas ideas que parecían haber sido expuestas por vez primera por autores relativamente modernos, eran tan solo exhumadas de otros autores anteriores.

- Desde el punto de vista hidrogeológico hemos estudiado el progreso de las ideas acerca del flujo de las aguas subterráneas de la Cuenca de Madrid. Cabe señalar como una de las primeras aportaciones (en 1.830) al conocimiento geológico del "terreno de Madrid" -muy detallada y precisa por demás- tenía por finalidad primordial la investigación de las "fuentes ascendentes" (Pozos surgentes).

### 3.- Los materiales. Características litoestratigráficas

El basamento, aflorante en las Sierras de Guadarrama y Gredos (macizo septentrional) y en los Montes de Toledo (macizo meridional), se ha descrito sucintamente a partir de la información recopilada en la consulta bibliográfica. El contacto mediante falla inversa del macizo septentrional con la unidad terciaria ha podido ponerse de manifiesto en un punto de la región estudiada a partir de los datos proporcionados por la construcción de un pozo ubicado sobre materiales graníticos pero muy próximo al contacto en superficie con los materiales terciarios.

- De la cobertera se han estudiado en primer lugar los materiales cretácicos de Valdemorillo, poniendo de manifiesto algunas estructuras sedimentarias de interés, así como pasando revista de la fauna fósilífera hasta ahora encontrada por diversos autores.

- Se describen a continuación unas curiosas facies posiblemente de edad paleógeno inferior que afloran en los alrededores de Quijorna, estudiándose su relación con los materiales cretácicos infrayacentes y con los terciarios más modernos suprayacentes.

- Dentro de los denominados por nosotros materiales terciarios modernos se han distinguido, a partir de datos recopilados en el análisis bibliográfico, de datos de campo, de datos procedentes del análisis de las descripciones litológicas de los detritus de perforación y de datos obtenidos del análisis de testificación geofísica de pozos y sondeos, siete unidades litoestratigráficas que hemos denominado unidad Navalcarnero (U.N.), unidad Tosco (U.T.), unidad Torrijos (U.Tr.), unidad Carpio (U.C.), unidad Cazalegas (U.Cz.), unidad Malpica (U.Mp.) y unidad Inferior (U.I.).

- Se han reconocido características propias de un medio de sedimentación de abanico aluvial para estos materiales terciarios modernos, medio de sedimentación que habría estado vigente desde el episodio de sedimentación  $TM_0$  (Unidad Inferior) al  $TM_3$  (Unidad Navalcarnero).

- Respecto a la edad de los materiales terciarios modernos, nosotros admitimos la posible edad oligocena de los más inferiores; no pensamos por el contrario que los denominados "Niveles Rojizos y Gris Ceniza" correspondan a paleosuelos desarrollados en climas húmedos con estaciones contrastadas; suponemos un origen diagenético a estas curiosas estructuras.

- En cuanto a los materiales cuaternarios, hemos distinguido los depósitos aluviales del Alberche de los del Tago y ambos de los depósitos de terraza de esos dos ríos.



#### 4.- Los materiales. Comportamiento hidráulico

- Se han distinguido cuatro grandes unidades hidrogeológicas en la región estudiada : los macizos cristalinos, los materiales cretácicos y terciarios antiguos, los materiales terciarios modernos y los depósitos aluviales actuales de los ríos Alberche y Tajo, entre El Carpio de Tajo y Talavera de La Reina.
- La influencia del medio sedimentario en la eficiencia de las captaciones ha podido ponerse de manifiesto a partir del análisis de la distribución espacial de 172 valores de caudales específicos obtenidos durante la realización del inventario de puntos de agua.
- Se ha adoptado un sencillo modelo para la interpretación de los 27 ensayos de bombeo de que hemos dispuesto, cuya validez se ha comprobado en toda la región de estudio y zonas aledañas. Dicho modelo hace mención de los efectos de drenaje diferido que han podido identificarse en la prácticamente totalidad de las curvas descenso-tiempo analizadas.
- Asimismo se han determinado los parámetros B y C (coeficientes de pérdida de circulación en la formación y en el pozo respectivamente) a partir de los datos de un ensayo de bombeo escalonado.
- Hemos pasado revista a los parámetros hidráulicos que diversos autores han calculado por métodos de laboratorio para los materiales terciarios modernos, comparándolos con los obtenidos por métodos clásicos.
- Por último hemos analizado las características hidráulicas de los materiales cuaternarios que, fundamentalmente de origen fluvial, tapizan el fondo de los valles del Alberche y del Tajo.

### 5.- El Relieve

- Hemos distinguido en la cuenca terciaria del río Alberche tres unidades fisiográficas fundamentales que denominamos Campiña Alta, Campiña Baja y Vegas.
- La Campiña Alta por sus características topográficas y por estar instalada sobre los materiales de la unidad Navalcarnero, parece ejercer un papel importante en cuanto a facilitar la infiltración del agua procedente de las precipitaciones.

### 6.- Parámetros climáticos y escorrentía superficial

- Se ha estimado una pluviometría anual media, en el período considerado (1.940-1.963), comprendida entre 400 y 600 mm.
- La evapotranspiración real obtenida, a partir de los datos de una sola estación, resulta ser de 402 mm.; debe solo considerarse a título orientativo.
- Los coeficientes de escorrentía oscilan entre el 3% para el año más seco del período considerado y el 29% para el más húmedo. Asimismo el caudal específico del año seco es 0,8 l/seg. Km<sup>2</sup> y 7,6 l/seg. Km<sup>2</sup> el del año húmedo.

### 7.- Modelo del flujo de las aguas subterráneas

- Hemos realizado una breve pero creemos que completa revisión de los distintos modelos de flujo de las aguas subterráneas de la Cuenca de Madrid que se han ido proponiendo desde el primer tercio del siglo pasado.
- Asumimos un modelo de flujo semejante al que ha sido adoptado en regiones próximas de esta misma por otros

autores, del cual exponemos sus propiedades principales. Este modelo se basa en dos suposiciones básicas : continuidad hidráulica regional y existencia de límites de flujo; se podría añadir una tercera más, cual es la existencia de condiciones regionales de no confinamiento.

#### 8.- Distribución de potencial hidráulico de las aguas subterráneas

- A partir del nivel del agua medido directamente en el campo en los pozos y sondeos inventariados, se ha construido empíricamente la malla de flujo en los nueve perfiles hidrogeológicos que presentamos en nuestro trabajo.
- Dicha malla de flujo permite explicar satisfactoriamente los datos de niveles de agua así como las características químicas e isotópicas de las aguas subterráneas.
- Con objeto de analizar la evolución estacional del nivel del agua en los pozos, adecuamos desde los primeros momentos del estudio una red piezométrica de observación compuesta de doce pozos y sondeos. Se ha analizado la evolución de los niveles piezométricos en áreas de recarga de aguas subterráneas, en un área de bombeo concentrado y en la zona de confluencia Alberche-Tajo.

#### 9.- Estudio de la distribución de las propiedades físico-químicas de las aguas subterráneas

- Con base en 93 análisis físico-químicos de aguas subterráneas se ha estudiado la evolución geoquímica de las aguas subterráneas en la cuenca del río Alberche desde las áreas de recarga de aguas subterráneas hasta las de descarga.

- Se han utilizado en dicho análisis, en primer lugar, diagramas triangulares; después hemos recurrido a la distribución espacial de algunas características físico-químicas (conductividad y dureza) así como a la de algunas relaciones iónicas. También se han representado en sistemas de ejes coordenados pares de estas propiedades físico-químicas y relaciones iónicas.

- Se ha puesto de manifiesto la rapidez con que en nuestra zona los fenómenos de intercambio iónico modifican la composición inicial de las aguas subterráneas: los fenómenos de puesta en solución son mucho más lentos que aquellos por lo que sus efectos no hacen aparición en sistemas de flujo de corto recorrido. No obstante, en sistemas de corriente de largo recorrido estos sustituyen a aquellos en cuanto a modificar la estructura inicial de las aguas subterráneas en las áreas de recarga.

#### 10.- Análisis del contenido en isótopos ambientales estables de las aguas subterráneas

- En nuestro trabajo estudiamos la distribución del contenido en oxígeno-18 de las aguas subterráneas de la cuenca terciaria del río Alberche a partir de 28 determinaciones verificadas por nosotros mismos. Seguidamente se relacionan dichas determinaciones con algunas características químicas y relaciones iónicas.

- Se han podido caracterizar isotópicamente áreas de recarga de aguas subterráneas así como establecer la variación vertical del contenido isotópico de las aguas subterráneas en áreas de transición ("mid-line"); se han caracterizado también áreas de descarga de aguas subterráneas a la vez que las aguas subterráneas salobres de la zona de confluencia Alberche-Tajo.

#### 11.- Algunos aspectos prácticos del estudio

- De acuerdo con estudios previamente realizados, hemos evaluado la demanda total de agua en la zona estudiada en unos  $280 \text{ Hm}^3$ , con referencia a 1.970;  $17 \text{ Hm}^3$  constituían la demanda para usos urbanos e industriales, de los que  $5 \text{ Hm}^3$  eran aguas subterráneas. El bombeo de aguas subterráneas con fines de regadío supuso en aquel mismo año  $35 \text{ Hm}^3$ .

- En cuanto a la incidencia de las características constructivas de las captaciones en su eficiencia, parece observarse como los más altos caudales específicos corresponden a pozos contruidos a rotación con circulación inversa. Nuestra opinión es que el procedimiento constructivo influye en el rendimiento de las captaciones más que por el procedimiento en sí, por el conjunto de operaciones que uno u otro suelen llevar indefectiblemente consigo y que se traducen en un diferente nivel de acabado del pozo.

BIBLIOGRAFIA

- ADAN DE YARZA, R. (1.906). "Estudios hidrogeológicos. Provincia de Madrid. Zona entre Madrid, San Martín de Valdeiglesias y el ferrocarril de Madrid a Alicante". Bol. Com. Mapa Geológico de España. T.XXVIII, pp.297-320. Madrid.
- AGUIRRE ENRIQUEZ, E. (1.974). "Correlación continental-marino en el Neógeno mediterráneo. Datos actuales y problemas". Estudios Geológicos, Vol.XXX, pp. 655-660. Madrid.
- (1.975). "División estratigráfica del Neógeno continental". Estudios Geológicos 31, pp.587-596. Madrid.
- AGUIRRE ENRIQUEZ, E., DIAZ MOLINA, M. y PEREZ GONZALEZ, A. (1.976). "Datos paleomastológicos y fases tectónicas en el Neógeno de la Meseta Sur Española". Trabajos Neógeno/Cuaternario 5, 7-29.
- ALFEREZ DELGADO, F. (1.974). "Estudio del sistema de terrazas del río Tajo al W. de Toledo". Tesis doctoral. Fac. de Ciencias Geológicas. Madrid. Estudios Geológicos 33, pp.223-250. Madrid, 1.977.
- ALIA MEDINA, M. (1.945 a). "Notas morfológicas de la región toledana". Las Ciencias, año X n°1. Sección 4ª Ciencias Naturales, pp.95-113. Madrid.
- (1.945 b). "El Plioceno en la comarca toledana y el origen de la región de La Sagra". Estudios Geográficos, año VI, n°19. Madrid.
- (1.954). "Observaciones sobre las formaciones neísicas y graníticas del S. de Toledo". Notas y Comunicaciones, n°34, pp.61-76. I.G.M.E. Madrid.

ALIA MEDINA, M. (1.960). "Sobre la tectónica profunda de la fosa del Tajo". Notas y Comunicaciones del I.G.M.E.: n°58, pp.125-162.

- (1.972). "Evolution post-hercynienne dans les regions centrales de la Meseta espagnole". 24<sup>th</sup> I.G.C. Section 3. Montreal. 1.972.

- (1.976). "Una megaestructura de la Meseta Ibérica : la Bóveda Castellano - Extremeña". Estudios Geológicos n°32, pp.229-238.

ALONSO, J., GARCIA VICENTE, J. y RIBA, O. (1.961). "Sedimentos finos del centro de la cubeta terciaria del Tajo". II Reunión de Sedimentología. C.S.I.C. pp.21-55. Sevilla.

- (1.964). "Arcillas miocenas de la cuenca del Tajo". Cursos y Conf. del Inst. "Lucas Mallada" C.S.I.C. fasc.IX. Madrid.

ALONSO LUZURIAGA, I. (1.970). "Estratigrafía y sedimentología del Cretácico del borde N. de la Meseta de Toledo : Cerro de La Rosa". Cuad. Geol. Iberica. vol.I, pp.25-55. Madrid.

ALVARADO, A. y MUAMBA, K. (1.976). "Variación de la permeabilidad con respecto a la profundidad en el Terciario de Madrid". Inédito. Trabajo práctico del X Curso de Hidrogeología "Noel Llopis". Departamento de Estratigrafía. Madrid.

ALVAREZ ARAVACA, M. (1.908). "Estudios hidro-geológicos. Cuenca del Tajo. Provincia de Guadalajara. Zona sud occidental, que incluye las formaciones geológicas Diluvial, Aluvial y Terciaria". Bol. Com. Mapa Geol. de España. T.XXIX (2<sup>a</sup> serie T.9) pp.227-280. Madrid.

- (1.909). "Estudios hidrogeológicos. Cuenca del Tajo. Zona de este río, del Alberche y del Tiétar, en la provincia de Toledo". Bol. Com. Mapa Geol. de España. T.XXX (T.X 2<sup>a</sup> serie). pp.103-127. Madrid, 1.910..

- ANDOLZ, J. (1.972). "Coste del agua subterránea para el abastecimiento urbano". Informaciones y Estudios. Boletín del S.G.O.P. n°36. Madrid.
- ANTON ONECA, M. (1.934 a). "Informe sobre los sondeos practicados en el río Alberche para estudio de la cementación de un nuevo puente en la carretera de Extremadura". Inf. n°152. S.G.O.P. Madrid.
- (1.934 b). "Informe sobre los sondeos practicados para estudio de la presa de derivación del canal bajo del Alberche en Cazalegas (Toledo)". Informe n°155. S.G.O.P. Madrid.
  - (1.935). "Informe sobre los sondeos efectuados en el río Alberche para el puente de la carretera de Malpica a la de Talavera a S. Martín de Valdeiglesias". Informe n°174, S.G.O.P. Madrid
- APARICIO YAGUE, A. (1.971). "Estudio geológico del Macizo de Toledo". Estudios Geológicos. vol.27, n°5, pp.369-414. C.S.I.C. Madrid.
- APARICIO, A., BARRERA, J.L., CARABALLO, J.M., PEINADO, M. y TINAO, J.M. (1.975). "Los materiales graníticos ex cénicos del Sistema Central Español". Mem. del I.G.M.E. n°88. Madrid.
- ARANEGUI, P. (1.927). "Las terrazas cuaternarias del río Tajo entre Aranjuez y Talavera de La Reina". Bol.R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Geol.) T.27. Madrid.
- ARRIBAS, A., JIMENEZ, E. y FUSTER CASAS, J.M. (1.971). "Mapa Geológico de España E.1:200.000. Síntesis de la cartografía existente. Hoja n°52. Talavera de La Reina". I.G.M.E. Madrid.
- ARRIBAS, A. y JIMENEZ, E. (1.972). "Mapa Geológico de España E.1:200.000. Síntesis de la Cartografía existente. Hoja n°44. Avila". I.G.M.E. Madrid.



- ASENSIO AMOR, I. (1.960). "Génesis y cronología de las arenas de Torrelodones (Madrid)". Revista Las Ciencias, año XXV, n°1, pp.75-84. Madrid.
- (1.965). "Formaciones sedimentarias localizadas al Norte de Madrid". Estudios Geográficos, n°99, pp. 231-243. Madrid.
- BARD, J.P., CAPDEVILA, R. y MATTE, P. (1.970). "Les grands traits stratigraphiques tectoniques, métamorphiques et plutoniques des Sierras de Gredos et Guadarrama (Espagne Central)". C.R. Acad. París T.270. pp.2630-2633. serie D. París.
- BARREIRO, J. (1.929). "Un capítulo de la Historia del Museo Nacional de Ciencias Naturales. Su fundación y primeros años (1.771-1.780)". Mem. de la R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.XV. pp.143-154. Madrid.
- BENAYAS, J., PEREZ MATEOS, J. y RIBA, O. (1.958). "Nouvelles observations sur la sédimentation continentale du bassin tertiaire du Tajo". V Congrés Intern. de Sédimentologie. Inst. Edaf. y Agrobiol. C.S.I.C.
- (1.960). "Asociaciones de minerales detríticos en los sedimentos de la cuenca del Tajo". Anales de Edafología y Agrobiología. T.XIX; n°11. pp.633-670.
- BENITEZ, A. (1.963). "Captación de aguas subterráneas; nuevos métodos de prospección y cálculo de caudales". Ed. Dossat. Madrid, 1.963. 2ª Edición : 1.972.
- BENTABOL y URETA, H. (1.898). "Las aguas de España y Portugal". Bol. Com. Mapa Geol. de España. T.XXV (2ª serie T.V) pág.11. Madrid, 1.900.
- (1.906). "Estudios hidro-geológicos. Provincia de Madrid. Zona entre Torrelodones, Navas del Rey y Madrid". Bol. Comisión del Mapa Geológico de España. T.XVIII (VIII 2ª serie) pp.209-240. Madrid.

- BIROT, P. (1.937). "Sur la morphologie de la Sierra de Guadarrama occidentale". Ann. Geogr. n°259.
- BIROT, P. y SOLE SABARIS, L. (1.954). "Investigaciones sobre morfología de la Cordillera Central española". Instituto "Juan Sebastián Elcano". C.S.I.C. Madrid, 1.954.
- BLACKWELDER, E. (1.928). "Mudflow as a Geologic Agent in Semiarid Mountains". Bull. Geol. Soc. Amer. 33. pp.465-483.
- (1.931). "Desert Plains". Jou. Geology. vol.39, pp. 133-140.
- BLISSEMBACH, E. (1.954). "Geology of alluvial fans in semiarid regions". Bull. of the Geological Society of America. Vol.65, pp.175-190.
- BORDIU GONGORA (1.830). "¿Es el terreno de Madrid apropiado para la formación de fuentes ascendentes?". Gaceta de Madrid, 1 de Mayo de 1.830. Madrid.
- BOTELLA Y DE HORNOS, F. (1.884-85). "Nota sobre la alimentación y desaparición de las grandes lagunas peninsulares". Act. Soc. Esp. Hist. Nat. T.XIII, pp. 79-90 y T. XIV pp.27-37. Madrid.
- BOULTON, N.S. (1.954). "Unsteady radial flow to a pumped well allowing for delayed yield from storage". Asociación Internacional de Hidrología Científica. Asamblea General de Roma (1.954) vol.2, pub. 37, pp.472-477.
- (1.963). "Analysis of data from nonequilibrium pumping tests allowing for delayed yield from storage". Proc. Institution of Civil Engineers, vol.26. London, 1.963.

- BUSTILLO REVUELTA, M.A. (1.976). "Estudio petrológico de las rocas silíceas miocenas de la cuenca del Tajo". Estudios Geológicos, vol.32 (5) 1.976. pp. 451-497.
- BUTENKO, J. y CUEVAS, M. (1.975). "Estudio de la variación de la permeabilidad con la compactación y la granulometría del material". Inédito. Trabajo práctico del IX Curso de Hidrogeología "Noel Llopis". Departamento de Estratigrafía. Madrid
- CACERES, T., DOMINGUEZ, R. y CAMILO, C. (1.977). "Cálculo de la permeabilidad y de la transmisividad de un pozo mediante permeámetro de carga constante". Inédito. Trabajo Práctico del XI Curso de Hidrogeología "Noel Llopis". Departamento de Estratigrafía. Madrid.
- CADAVID CAMINA, S. (1.973). "Investigación geofísica del borde meridional de la Sierra de Guadarrama". Rev. Univ. Complut. V.XXII, 88-I, pp.185-186. Tesis Doctoral. Fac. de Ciencias Geológicas. U.C.M. Madrid.
- (1.977). "Mapa estructural del techo del basamento del borde meridional de la Sierra de Guadarrama". Boletín Geológico y Minero. T.LXXXVIII-VI. Año 1.977. pp.494-496.
  - (1.978). "Comunicación personal".
- CAILLEUX, A. (1.961). "Histoire de la geologie". Presses Universitaires de France. París, 1.961. Traducción al castellano de Noelia Ida Bastard. Ed. Eudeba. Buenos Aires, 1.965.
- CALDERON, S. (1.884 a). "Sobre el origen y desaparición de los lagos terciarios en España". Bol. de la Institución Libre de Enseñanza. Año VIII. n°182. pp. 257-259. Madrid, 1.884.

- CALDERON, S. (1.884 b). "Contestación a la nota del Sr. Botella sobre la alimentación y desaparición de las grandes lagunas peninsulares". Act. Soc. Esp. Hist. Nat. T.XIII, pp.98-109. Madrid.
- (1.884 c). "Observación sobre la constitución de la meseta central de España". Act. Soc. Esp. Hist. Nat. T.XIII. Madrid.
- (1.885). "Ensayo orogénico sobre la Meseta Central de España". Anal. Soc. Esp. Hist. Nat. T.XIV. pp. 131-172. Madrid.
- (1.895). "Origen de la sal común y de los sulfatos de los terrenos terciarios lacustres de la Península". Anales Soc. Esp. Hist. Nat. T.XXIV, pp.337-362. Madrid.
- CANTOS, J. (1.953). "Aplicación de los métodos geofísicos a la prospección de aguas subterráneas". N. y C. del I.G.M.E. n°29. pp.3-31.
- CAPOTE, R. y CARRO, S. (1.968). "Existencia de una red intramiocena en la depresión del Tajo". Estudios Geológicos, vol.24 n°1-2. Madrid.
- CARANDELL, J. (1.922). "Topografía comparada de cuatro localidades ribereñas españolas : Toledo, Montoro (Córdoba), Arcos de la Frontera (Cádiz) y Castro del Río (Córdoba)". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T. XXII, pp.440-452. Madrid.
- (1.928 a). "Nota acerca del Cuaternario de Torreldones". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.XXVIII, pp. 263-267. Madrid.
- (1.928 b). "Influencia de las diaclasas en la morfología de la Sierra de Guadarrama". Conf. y Res. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.III. Madrid.

- CARBO GOROSABEL, A., GONZALEZ UBANELL, A. y MARTIN ESCORZA, C. (1.973). "Estudio geológico del Terciario aflorante al Norte, Sur y Oeste de Madrid". Inédito. Cátedra de Geodinámica Interna. Fac. C. Geológicas. U.C.M. Madrid.
- CASQUET MARTIN, C. (1.975). "Metamorfismo plurifacial hercínico intermedio de baja presión en el Macizo de San Vicente (Sistema Central Español)". Estudios Geológicos. vol.XXXI, pp.217-239. Agosto, 1.975.
- CASTANY, G. (1.972). "Importance de facteurs géologiques et géomorphologiques dans les interactions eaux de surface - eaux souterraines et l'évaluation des ressources en eaux". 24<sup>th</sup> I.G.C. Section 11, pp.121-129. Montreal, 1.972.
- (1.975). "Prospección y explotación de las aguas subterráneas". Ediciones Omega, S.A. Barcelona, 1.975.
- CATEDRA GEODINAMICA INTERNA (U.C.M. y DIVISION DE GEOLOGIA DEL I.G.M.E. (1.971). "Mapa Geológico de España E.1;200.000. Síntesis de la Cartografía existente. Hoja n°45. Madrid". I.G.M.E. Madrid.
- C.E.H. (1.971) . "Inventario de recursos hidráulicos. Cuenca del Tajo". Centro de Estudios Hidrográficos. 1.971. Madrid.
- CHEBOTAREV, I.I. (1.955). "Metamorphism of natural waters in the crust of wathering". Geochim. Cosmochim. Acta 8 (1.955) 22.
- CHERRY, J.A., GRISAK, G.E. y CLISTER, W.E. (1.973). "Hydrogeological studies at a subsurface radioactive waste-management site in west-Central Canada". Proc. Symp. Underground Waste Management and Artificial Recharge, New Orleans, 1.973. Rep. AAPG - USGS - IAHS (1.973).

# 435

- CRAIG, H. (1.961). "Standards for reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural-waters". Science 133, 1833-1834, 1.961.
- CORCHON RODRIGUEZ, F. (1.976). "Empleo de técnicas isotópicas en el estudio de los acuíferos del Cretácico de los alrededores de Torrelaguna (Madrid y Guadalajara)". Inédito. Fundación Juan March. Depto. de Geología. Convocatoria 1.974. Madrid.
- (1.974). "Estudio Hidrogeológico del Cretácico de los alrededores de Torrelaguna (Madrid y Guadalajara)". Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas. Univ. Complutense. Madrid. Informaciones y Estudios. Boletín nº40. S.G.O.P. Madrid, 1.976.
- CORTAZAR, D. (1.878). "Expedición geológica por la provincia de Toledo en 1.877 y 1.878". Bol. Com. Mapa Geológico de España. T.X, pp.139-144 y 321-327. Madrid, 1.878.
- (1.906). "Noticia referente a estudios hidro-geológicos en España". Memoria presentada al Ministro de Fomento por el Director de la Comisión del Mapa Geológico de España. Bol. Com. Mapa Geol. Esp. T. XXVIII (2ª serie T.VIII), pp.177-206. Madrid.
- CRUCES DE ABIA, J. y LLAMAS MADURGA, M.R. (1.975). "Estudio mediante modelos digitales de las posibilidades de explotación de los acuíferos del Terciario de Madrid". II Congreso Ibero-Americano de Geología Económica. Buenos Aires.
- CRUCES DE ABIA, J. y LLAMAS MADURGA, M.R. (1.976 a). "Evaluación de recursos hidráulicos subterráneos en la Fosa del Tajo mediante modelos digitales". Simp. Nac. de Hidrogeología, T.II, pp.1291-1311. Valencia.

CRUCES DE ABIA, J. y LLAMAS MADURGA, M.R. (1.976 b).

"Comportamiento hidráulico del terciario detrítico de Madrid frente a bombeos concentrados". Memorias de la II Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Barcelona.

CRUSAFONT PAIRO, M. y VILLALTA COMELLA, J.F. (1.954).

"Ensayo de síntesis sobre el Mioceno de la Meseta Castellana". Real Soc. Esp. Hist. Nat. Vol. extra. homenaje a E. Hernández-Pacheco, pp.215-227, Madrid.

CUSTODIO, E. y LLAMAS, M.R. (1.976). "Hidrología Subterránea". Vol.I y II. Ed. Omega, S.A. Barcelona, 1.976.

DANTIN CERECEDA (1.921). "Levantamiento reciente de la

Meseta Central de la Península". Real Soc. Esp. Hist. Nat. Tomo extra. con motivo del 50 aniversario de su fundación. pp.173-177. Madrid.

DAVIS, S.N. y DE WIEST, R. (1.971). "Hidrogeología". Ed.

Ariel. Barcelona, 1.971. Versión española de Martínez Gil, F.J. y Niñerola Pla, J.M. Prólogo de Solé Sabarís, L.

DE LA MORENA y VALLE, J. et al (1.876). "Composiciones

poéticas leídas en Navalcarnero el día 16 de Abril de 1.876 con motivo de la inauguración de la fuente construída a expensas de D. Jacinto González Medrano". Ayto. de Navalcarnero, 1.876. Madrid.

DEPERET, CH., (1.908). "Sur les bassins tertiaires de la

Meseta espagnole". Bull. Soc. Geol. France; 4<sup>a</sup> ser. T. VIII. pp.18-19. París.

DIFFRE, PH. (1.967). "Historique de l'alimentation en

eau de París". Bull. B.R.G.M. n°4, 1.967. pp.3-22. París.

- DIVISION DE GEOLOGIA I.G.M.E. (1.972). "Mapa Geológico de España E.1:200.000. Síntesis de la cartografía existente. Hoja n°53. Toledo". I.G.M.E. Madrid.
- DIVISION DE GEOTECNIA I.G.M.E. e IBERGESA (1.974). "Mapa Geotécnico General. Hoja n°44. Avila". I.G.M.E. Madrid.
- DOUVILLE, H. (1.908 a). "Oligocène des environs de Tolède". Bull. Soc. Geol. France. 4<sup>a</sup> serie. T.VIII pp.17-18. Paris.
- (1.908 b). "Sur le tertiaire des environs de Tolède". Bull. Soc. Geol. France, 4<sup>a</sup> ser. T.VIII, pp. 455-456. Paris.
- EL-ASHRY, M.T. (1.971). "Quantitative method for grading drainage density". Geol. Soc. Amer. Bull. vol.32 pp.1703-6.
- E.N.A.D.I.M.S.A. (1.973). "Mapa de Rocas Industriales E.1:200.000. Hoja n°52 (4/7) Talavera de La Reina". I.G.M.E. Madrid.
- ERDELYI, M. (1.972). "Hydrology of Deep Groundwaters". Hung. Inst. Water Resources Development. (1.972) 121.
- ERNST, L.F. y WESTERHOF, J.J. (1.956). "Le developpment de la recherche hydrologique et son application au drainage aux Pays-Bas". IASH. Asociación Internacional de Hidrología Científica. Simposio Darcy de Dijon. Publ. 41, pp.148-164.
- EZQUERRA DEL BAYO, J. (1.845). "Indicaciones geognósticas sobre las formaciones terciarias del centro de España". An. de Minas. T.III, pp.300-316. Madrid.
- ELIAS, F. y GIMENEZ, R. (1.965). "Evapotranspiraciones potenciales y balances de agua en España" Mapa Agro-nómico Nac. M° Agricultura. Madrid.



EZQUERRA DEL BAYO, J. (1.850-56). "Ensayo de una descripción general de la estructura geológica del terreno de España en la Península". Mem. R. Academia de Ciencias. 3<sup>a</sup> serie. Ciencias Naturales. T.I Parte 1<sup>a</sup>. Sección 1<sup>a</sup>, pp.35-65. T.I Parte 2<sup>a</sup>. Sección 2<sup>a</sup>, pp. 73-107. T.I Parte 3<sup>a</sup>. Sección 3<sup>a</sup>, pp.161-184. T.IV. Parte 1<sup>a</sup>. Sección 4<sup>a</sup>, pp.115-155.

FERNANDEZ BOLLO, M. (1.950). "Datos obtenidos en un sondeo en Chamartin de la Rosa". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.48, n°1.

FERNANDEZ NAVARRO, L. (1.904). "Nota sobre el terciario de los alrededores de Madrid". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.IV. pág.271. Madrid.

- (1.908). "Los pozos artesianos en Madrid". Biblioteca de la Revista Agrícola. Madrid.
- (1.909). "Notas geológicas". Bol. Real Soc. Esp. Hist. Nat. T.IX, pp.330-336. Madrid.
- (1.909 a). "Pozos artesianos". Manuales Soler. n° 86. 128 pág., 18 figuras y 1 mapa. Barcelona.
- (1.909 b). "Investigación y alumbramiento de aguas subterráneas". Manuales Soler. n°87. 161 pág. 33 figuras. Barcelona.
- (1.909 c). "Perforaciones artesianas en el Cuaternario de Castilla La Nueva". Bol. R. Soc. Esp. de Hist. Nat. T.IX, pp.299-304. Madrid.
- (1.914). "Cuencas artesianas probables en la Península Ibérica". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.XIV. Feb. pp.105-122.
- (1.922). "Aguas subterráneas. Regimen, investigación y aprovechamiento". Edit. Calpe. Madrid.

- FONTES, J.C. (1.976). "Les isotopes du milieu dans les eaux naturelles". La Houille Blanche, n°3/4, 1.976. pp.205-221.
- FREEZE, R.A. (1.969). "Theoretical analysis of regional ground-water flow". Sci. Ser. e, Inland Waters Br., Environ. Canada, Ottawa, 1.969.
- FUSTER, J.M. y DE PEDRO, F. (1.954). "Estudio geológico del borde meridional de la Sierra de Guadarrama, entre Torrelodones y Valdemorillo". Not. y Com. del I.G.M.E. n°35, pp.45-70. Madrid.
- FUSTER, J.M. y MORA, A. (1.970). "El carácter del metamorfismo en el macizo de La Cañada (Sistema Central español)". Estudios Geológicos, vol.XXVI, pp.317-321. Instituto "Lucas Mallada". C.S.I.C. Madrid.
- GALVEZ CAÑERO, A. y JORDANA SOLER, L. (1.941). "Memoria explicativa de la Hoja n°558. Villaviciosa de Odón". Mapa Geológico de España a escala 1:50.000. I.G.M.E. Madrid, 1.934.
- GALVEZ CAÑERO, A., JORDANA SOLER, L. y KINDELAN, J.A. (1.950). "Memoria explicativa de la Hoja n°580. Méntrida". Mapa Geológico de España E.1:50.000 I.G.M.E. Madrid.
- GARCIA AGUSTIN, J. (1.974). "Las aguas subterráneas en el suministro del área metropolitana de Madrid". Conf. apertura VIII Curso de Hidrogeología "Noel Llopis". Rev. Agua, III-IV, 1.974. n°83, pp.17-35.
- GARCIA DE FIGUEROLA, C. (1.968). "Excursión geológica por el bloque de Pielago (Toledo-Avila)". Notas y Comunicaciones T.50, pp.75-93. I.G.M.E. Madrid.
- GARCIA DEL CASTILLO, J. y RUBIO, C. (1.906). "Estudios hidro-geológicos. Provincia de Madrid. Zona entre el ferrocarril del Norte y el de Madrid a Zaragoza". Bol. Com. Mapa Geol. de España. T.XXVIII (2ª serie T.VIII), pp.241-259.

GARCIA DEL CURA, M.A. (1.974). "Estudio sedimentológico de los materiales terciarios de la zona centro-oriental de la cuenca del Duero". Estudios Geológicos, vol.XXX, pp.579-597, Inst. "Lucas Mallada". C.S.I.C. Madrid.

GARCIA SINERIZ (1.933). "La interpretación geológica de las mediciones geofísicas aplicadas a la prospección".. T.I. "La investigación gravimétrica en la Meseta Terciaria de Madrid - Alcalá de Henares - Torrelaguna". Mem. del Inst. Geol. y Min. de Esp. n°44, pp. 407-443. Madrid.

GARCIA VEDOYA, A. (1.932 a). "Informe relativo a los sondeos efectuados para el pantano de Portina en término de Talavera". Inf. n°102. S.G.O.P. Madrid.

- (1.932 b). "Informe relativo a los sondeos en el emplazamiento de la presa del canal derivado del Alberche en Cazalegas (Toledo) para el riego de las vegas de Talavera de La Reina". Informe n°105. S.G.O.P. Madrid.
- (1.933 a). "Informe relativo a los sondeos en el emplazamiento de la presa del canal derivado del río Alberche en Escalona (Toledo), para el riego de las vegas de Talavera de La Reina". Informe n°105' S.G.O.P. Madrid.
- (1.933 b). "Informe de los sondeos realizados en el arroyo del Barrago (Talavera) para estudio de un pantano, a instancia de la Delegación de Servicios Hidráulicos del Tajo". Informe n°125, S.G.O.P. Madrid.

GARNIER (1.821). "Traité sur les puits artesiens et sur les differentes especes de terrains". Versión española : "Tratado de las fuentes ascendentes o de las varias especies de terrenos en que puede buscarse aguas subterráneas". Traducción : Cristobal Bordiú, Madrid, 1.829.

- GEOPRIN S.L. (1.974). "Mapa de Rocas Industriales E. 1:200.000. Hoja nº44 (4-6). Avila". I.G.M.E. Madrid.
- GIMENEZ DELGADO, J. (1.865). "Aguas artesianas, subterráneas y corrientes de la provincia de Madrid". Edit. Carlos Bailly - Balliere. Madrid.
- GOMEZ DE LLARENA, J. (1.913). "Excursión al Mioceno de la cuenca del Tajo". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.XIII, pp.229-237. Madrid.
- (1.928). "Notas geológicas. Sobre los terrenos rojos al Norte de Toledo". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.XXVIII, pág. 465. Madrid, 1.928.
- GONZALEZ, R.D. (1.977). "Estudio y aplicación de los registros de sondeos a los problemas hidrogeológicos del Terciario de Madrid". Inédito. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Geológicas. Univ. Compl. Madrid.
- GONFIANTINI, R. (1.974). "Environmental isotope investigation in Canary Islands groundwater". Simposio Internacional sobre Hidrología de Terrenos Volcánicos. Arrecife de Lanzarote (Islas Canarias). Gobierno español - Unesco, 1.974.
- GONFIANTINI, R., GALLO, G., PAYNE, B.R. y TAYLOR, C.B. (1.975). "Environmental isotopes an hydrochemistry in groundwater of Gran Canaria". Interpretation of Environmental Isotope and Hydrochemical Data in Groundwater Hydrology, pp.159-170. IAEA. Viena, 1.976.
- GUAD y FUENTES, A. (1.865). "Cuadro sinóptico o guía del investigador de aguas subterráneas, ordinarias y artesianas en Madrid y sus cercanías". Madrid.

HERNANDEZ FERNANDEZ, M.E. (1.974). "Estudio magnético del basamento en el extremo occidental de la depresión tectónica del Tajo (Talavera de La Reina-Torrijos)". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Geol.) 72 pp.99-108 (1.974).

HERNANDEZ PACHECO, E. (1.912). "Itinerario geológico de Toledo a Urda". Trab. Mus. Nac. Cienc. Nat. nº1. Madrid.

- (1.914 a). "Régimen geográfico y climatológico de la Meseta Castellana durante el Mioceno". Rev. R. Acad. Cienc. Madrid.
- (1.914 b). "Mioceno superior de La Puebla de Almu-  
radiel (Toledo)". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.  
T.XIV, pp.275-278. Madrid.
- (1.914 c). "Los vertebrados terrestres del Mioceno  
de la Península Ibérica". Mem. R. Soc. Esp. Hist.  
Nat., T.IX. nº4. Madrid.
- (1.915). "Geología y Paleontología del Mioceno de  
Palencia". Mem. nº2 de la Com. de Invest. Paleont.  
y Prehist. Madrid.
- (1.917). "Hallazgo de tortugas gigantes en el  
Mioceno de Alcalá de Henares". Bol. R. Soc. Esp.  
Hist. Nat. T.XVII. pp.194-202. Madrid.
- (1.923). "Edad y origen de la Cordillera Central  
de la Península Ibérica". Asociación Española para  
el Progreso de Las Ciencias. Congreso de Salamanca.  
Tomo de Conferencias. Madrid, 1.923.
- (1.928). "Los cinco ríos principales de España y  
sus terrazas". Trab. Mus. Ciencias Nat. Serie Geol.  
nº36. Madrid.
- (1.929). "Datos geológicos de la meseta toledano-  
cacerense y de la Fosa del Tajo". Mem. Soc. Esp.  
Hist. Nat. T.XV. pp.183-202. Madrid.

- HERNANDEZ PACHECO, E. (1.930 a). "El meandro encajado del Tajo en torno de Toledo". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.XXX, pp.116-119. Madrid.
- (1.930 b). "Aclaraciones a las notas relativas al torno del Tajo en Toledo". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.XXX, pp.194-196. Madrid.
  - (1.943). "Observaciones respecto al Paleógeno continental hispánico". Las Ciencias. Año VIII, n°3. Sección 4ª. Ciencias Naturales, pp.545-545. Madrid.
- HERNANDEZ PACHECO, E. y ROYO Y GOMEZ, J. (1.916). "Mineralogía, geología y prehistoria del Cerro de Los Angeles (Madrid)". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.XVI, pp.533-539. Madrid.
- HERNANDEZ PACHECO, F. (1.950). "Rasgos fisiográficos y geológicos de La Vera, del tramo medio del valle del Tíetar y del Campo Arañuelo". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.XLVIII, pp.217-245. Madrid.
- (1.962). "La formación o depósitos de grandes bloques de edad Pliocena. Su relación con la raña". Estudios Geológicos. Vol. XVIII, pp.75-88. Madrid.
- HERNANDEZ PACHECO, F. y ASENSIO AMOR, I. (1.964). "Materiales arenosos de los alrededores de Madrid". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.62 n°2.
- HERNANDEZ PACHECO, F., ALBERDI ALONSO, M. y AGUIRRE ENRIQUEZ, E. (1.969). "Proceso formativo y época de la Sierra de Guadarrama". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.67, n°3. Madrid.
- HERNANDEZ SAMPELAYO, P. y HERNANDEZ SAMPELAYO, A. (1.934). "Memoria explicativa de la Hoja n°581. Navalcarnero (Madrid y Toledo)". Mapa Geológico de España a E.1:50.000. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

- HUBBERT, M.K. (1.940). "The theory of ground-water motion". The Journal of Geology, vol.XLVIII, n°8. Part.I.
- HUERTAS, F., LINARES, J. y MARTIN VIVALDI, J.L. (1.970). "Clay minerals geochemistry in basic sedimentary environments". Reunión Hispano-Belga de Minerales de la Arcilla, pp.211-214. Madrid, 1.970.
- (1.971). "Minerales fibrosos de la arcilla en cuencas sedimentarias españolas. I.- Cuenca del Tajo". Bol. Geol. y Min. T.LXXXII-VI. Año, 1.971, pp.534-542. Madrid.
- IBERGESA (1.973). "Mapa Geotécnico General. Hoja n°52 (4-7). Talavera de La Reina". I.G.M.E. Madrid.
- I.G.E. (1.911). "Notas sueltas de Hidrología Subterránea. Preámbulo de la Dirección del Instituto". Bol. Com. Mapa Geol. Esp. T.XXXII (T.XII, 2ª serie), pp.257-258. Madrid, 1.912.
- I.G.M.E. (1.933). "Sondeo de El Pardo". Not. y Com. Inst. Geol. y Min. de España, vol.5 n°5, pág. 101. Madrid.
- I.G.M.E. - C.Y.II (1.966 a). "Plan de urgencia para alumbramiento de aguas subterráneas en la Cuenca de Madrid. Primera fase". Inédito. I.G.M.E. Madrid.
- (1.966 b). "Proyecto de estudio de los recursos de aguas subterráneas del sur de las sierras de Guadarrama y Gredos". Inédito. I.G.M.E. Madrid.
- I.G.M.E. (1.971). "Mapa Hidrogeológico Nacional". E. 1:1.000.000.
- JANINI JANINI, R. (1.913). "Riegos con aguas artesianas. Noticias generales respecto a los pozos artesianos y a los arrendamientos de terrenos para huertas en el Real Patrimonio de El Pardo". Intendencia General de la Casa Real y Patrimonio. Valencia, pp.5-90. Bibliot. Nac. Madrid.

- JANINI JANINI, R. (1.913) : Incluye a GARCIA MUÑOZ, F. (1.913) "Informe técnico del estudio e investigación de las aguas subterráneas del Real Sitio de El Pardo".
- KINDELAN, J.A. (1.953). "Notas sobre la potencialidad hidrológica subterránea de las cuencas del Tajo y Guadiana en Castilla La Nueva". Not. y Com. del I.G.M.E. n°29. Madrid.
- KINDELAN, J.A. y CANTOS, J. (1.952). "Memoria explicativa de la Hoja n°626. Calera y Chozas". Mapa Geológico de España E.1:50.000. I.G.M.E. Madrid.
- KINDELAN, J.A. y HERNANDEZ PACHECO, F. (1.952). "Memoria explicativa de la Hoja n°602. Navamorcuende". Mapa Geológico de España. E.1:50.000. I.G.M.E. Madrid.
- KINDELAN, V. (1.928). "El sondeo de Alcalá de Henares". Datos para el estudio de la geología de la provincia de Madrid. Mapa Geológico de España a E.1:50.000. Hoja n°560, Alcalá de Henares, pp.225-249. I.G.M.E. Madrid, 1.929.
- KINDELAN, V. y GARCIA SIÑERIZ, J. (1.928). "Estudios geofísicos en las provincias de Madrid y Guadalajara". Datos para el estudio de la geología de la provincia de Madrid. Mapa Geológico de España a E. 1:50.000. Hoja n°560, Alcalá de Henares, pp. 252-296. I.G.M.E. Madrid, 1.929.
- LAZARO OCHAITA, I. (1.977). "Estudio geomorfológico de la cuenca del río Guadalix (evolución Neógeno-Cuaternario)". Estudios Geológicos, n°33, pp.101-117. Madrid, 1.977.
- LETOLLE, R., MARCE, A. y FONTES, J.C. (1.965). "Un spectrometre de masse pour mesure de precision des abondances isotopiques de l'oxygene et du carbone". Bull. Soc. Franc. Miner. Crist. (1.965). T.LXXXVIII, pp. 417-421.



- LOGAN, J. (1.964). "Estimating transmissibility from routine production test of water wells". Ground Water, vol.2, n°2, pp.35-37.
- LOPEZ AGUAYO, L. y CABALLERO, M.A. (1.973). "Los minerales de la arcilla y su contribución a la diferenciación de facies sedimentarias". Estudios Geológicos, vol. XXIX, n°2, pp.131-143. Madrid.
- LOPEZ CAMACHO, B. (1.974). "Análisis económico de las posibilidades de las aguas subterráneas de las proximidades de Madrid". Rev. de Obras Públicas. Octubre, 1.974, pp.705-716.
- (1.975). "Utilización de métodos estadísticos en la planificación del aprovechamiento de los recursos hidráulicos subterráneos. Aplicación del Area Metropolitana de Madrid". Madrid. Tesis Doctoral. Escuela T. Sup. de Ing. de Caminos, Canales y Puertos.
  - (1.977). "Estudio del flujo del agua subterránea en medios heterogéneos y anisótropos mediante un modelo digital bidimensional. Aplicación a la región de Madrid". Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 1.977.
- LOPEZ VERA, F. (1.975). "Hidrogeología regional de la cuenca del río Jarama en los alrededores de Madrid". Tesis Doctoral. Fac. de Ciencias Geológicas. Univ. Compl. Madrid. Memorias del I.G.M.E. n°91. Madrid.
- (1.977 a). "Estudios geológicos e hidrogeológicos sobre la Fosa media del Tajo". Bol. Geol. y Min. T.LXXXVIII-V, Año, 1.977, pp.401-416. I.G.M.E. Madrid.
  - (1.977 b). "Modelo de sedimentación de los materiales detríticos de la fosa de Madrid". XXXII Congreso Luso-Español para el progreso de las Ciencias. León, 1.977. Tecniterrae. n°18, pp.64-69.

- LOPEZ VERA, F. y SAIZ-GARCIA CUENCA, J. (1.973). "Contaminación y protección de las aguas subterráneas". CIMBRA, nº108. Madrid, pp.3-10.
- LOPEZ VERA, C.F. y HERRAEZ SANCHEZ DE LAS MATAS, M.I. (1.976). "Impacto de la contaminación producida por los vertidos de residuos sólidos urbanos sobre las aguas subterráneas de los alrededores de Madrid". I Simp. Nac. de Hidrogeología. T.II, pp.1046-1063. Valencia, 1.976.
- LOPEZ VERA, F. y PEDRAZA GILSANZ, J. (1.976). "Síntesis geomorfológica de la cuenca del río Jarama en los alrededores de Madrid". Estudios Geológicos, 32, pp.499-508. Madrid, 1.976.
- LOPEZ VERA, F. y SAIZ GARCIA-CUENCA, J. (1.977). "Capacidad de regulación del Terciario y Cuaternario sobre los caudales del río Jarama en los alrededores de Madrid". Bol. Geol. y Min. T.LXXXVIII-II, Año 1.977, pp.116-130. Madrid.
- LUGARDO, B. y BELLUGA, B. (1.776). "Piedras de San Isidro, su naturaleza, valor y ventajas". Madrid, 1.776.
- LUJAN, F. (1.850). "Estudios y observaciones geológicas relativas a terrenos que comprenden parte de la provincia de Badajoz y de las de Sevilla, Toledo y Ciudad Real; y cortes geológicos de estos terrenos". Mem. R. Acad. Ciencias Naturales. 3ª serie, T.I, Parte 1ª, pp.5-34; T.I. Parte 2ª, pp.1-71.
- LIAMAS, M.R. (1.974). "Hacia una política hidráulica sin hidroesquizofrenia". I Conferencia Nacional sobre Hidrología General y Aplicada. Comunicación a la Ponencia nº3.
- (1.976 a). "La utilización de las aguas subterráneas en Madrid : de los "mayrat" musulmanes a los modelos digitales" Est. Geol., nº32, pp.121-139.

LLAMAS, M.R. (1.976 b). "La investigación de las aguas subterráneas del Area Metropolitana de Madrid". Rev. Tecniterrae, nº11 , pp.63-67. Madrid.

LLAMAS MADURGA, M.R. y MOLIST SAGARRA, J. (1.968). "El ensayo de bombeo como método de valoración de las características del acuífero y la eficacia del pozo". 1<sup>er</sup> Seminario de Técnicas Modernas para la Construcción de Pozos. Barcelona, 1.968.

LLAMAS, M.R. y LOPEZ VERA, C.F. (1.975). "Estudio sobre los recursos hidráulicos subterráneos del Area Metropolitana de Madrid y su zona de influencia : avance de las características hidrogeológicas del Terciario detrítico de la cuenca del Jarama". Agua, nº88, pp.36-55. Enero-Marzo, 1.975.

- (1.977). "Incidencia de las características tecnológicas de los pozos en la explotación de los acuíferos del terciario detrítico de Madrid". Bol. Geol. y Min. T.LXXXVIII, 1.977, pp.316-327. Madrid.

MACPHERSON, J. (1.879). "Breve noticia acerca de la especial estructura de la Península Ibérica". Anales de la Soc. Esp. Hist. Nat. T.VIII, pp.5-26. Madrid.

- (1.880). "Predominio de la estructura uniclinal en la Península Ibérica". Anales Soc. Esp. Hist. Nat. T.IX, pp.465-494. Madrid.
- (1.888). "Relación entre las formas de las depresiones oceánicas y las dislocaciones geológicas". Madrid.
- (1.901). "Ensayo histórico evolutivo de la Península Ibérica" Anales Soc. Esp. Hist. Nat. T.XXX, pp. 123-165. Madrid.

- MACPHERSON, J. (1.905). "El torno del Tajo en Toledo".  
Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.V. pp.100-101. Madrid.
- MALLADA, L. (1.906). "Aguas y pozos de los barrios bajos de Madrid". Bol. de la Com. del Mapa Geol. de España, T.XXVIII, pp.321-328. Madrid.
- (1.907). "Explicación del Mapa Geológico de España. T.VI. Sistemas Eoceno, Oligoceno y Mioceno". Mem. de la Com. del Mapa Geol. de España, pp.408-427. Madrid.
  - (1.911). "Explicación del Mapa Geológico de España. T.VII y Último : Sistemas Plioceno, Diluvial y Aluvial". Mem. de la Com. del Mapa Geol. de España. Madrid.
- MALLADA, L. y DUPUY DE LOME, E. (1.912). "Reseña geológica de la provincia de Toledo". Bol. del Inst. Geol. de España. T.XXXIII. T.XIII (2<sup>a</sup> serie), pp.9-101. Madrid.
- MARIN Y BERTRAN DE LIS, A. (1.942). "Plan de alumbramiento de aguas subterráneas". Not. y Comunicaciones del I.G.M.E. n°9, pág.3. Madrid.
- MARIOTTI, A. y LETOLLE, R. (1.977). "Application de l'etude de isotopique de l'azote en Hydrologie et en Hydrogeologie - Analyse des resultats obtenus sur un exemple precis : le basin de Melarchez (Seine et Marne, France)". Journal of Hydrology, 33 (1.977) pp.157-172.
- MARTIN ESCORZA, C. (1.974). "Sobre la existencia de materiales paleógenos en los depósitos terciarios de la Fosa del Tajo en los alrededores de Talavera de La Reina - Escalona (prov. de Toledo)". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Geol.) 72, pp.141-160, 1.974.
- (1.975). "Estudio geotectónico del Paleozoico inferior en los Montes de Toledo surorientales (Urda-

Fuente del Fresno)". Tesis Doctoral. Fac. de Cienc. Geológicas. Universidad Complutense. Madrid.

- MARTIN ESCORZA, C. (1.976 a). "Un ejemplo de la actividad tectónica durante el mioceno, del basamento fracturado de la Fosa del Tajo". Artículo : (5.II.76). Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Tomo 74, nº1-4. 1.976.
- (1.976 b). "Actividad tectónica, durante el Mioceno, de las fracturas del basamento de la Fosa del Tajo".. Estudios Geol., 32, pp. 509-522 (1.976).
  - (1.976 c). "An Annular structural complex north of Madrid detected by landsat images". NASA. Project nº28760. Thirel Quaterly Report. Sept. 1.976 pp.30-44, 6 figs. Inst. Geog. Catast. Madrid.
- MARTIN ESCORZA, C. y HERNANDEZ ENRILE, J.L. (1.972). "Contribución al conocimiento de la geología del Terciario occidental de la Fosa del Tajo". Bol R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Geol.) 70 (1.972), pp.171-190. Incluye un mapa E.1:250.000 y cortes.
- MARTIN ESCORZA, C., CARBO GOROSABEL, A., GONZALEZ UBANELL, A. (1.973). "Contribución al conocimiento geológico del Terciario aflorante al N. de Toledo". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Geol.) 71, pp.167-182. Incluye un mapa geológico E.1:166.000 y cortes.
- MARTIN, I., BRELL, J.M. y GALAN, E. (1.976). "Mineralogía de los materiales terciarios del area de Alcalá de Henares (Depresión del Tajo)". Est. Geol. vol.32, nº1, pp.105-113. Madrid.
- MARTINEZ ALFARO, P.E. (1.977). "Hidrogeología de los materiales terciarios y cuaternarios de la cuenca del río Manzanares. (Las aguas subterráneas de Madrid)". Tesis Doctoral. Inédito. Fac. de Ciencias Geológicas. Univ. Complutense. Madrid.

- MARTINEZ COLLADO, J. (1.975). "Bibliografía geológica, hidrogeológica y minera de la provincia de Madrid". Seminarios de Estratigrafía, nº11, págs. 2-44. Madrid, 1.975.
- MC GOWEN, J.H. GROAT, C.G. (1.971). "Van horn sandstone, west Texas : An alluvial Fan model for mineral exploration". Bureau of Economic Geology. The University of Texas at Hustin. Report of Investigations, nº72.
- MEYBOON, P. VAN EVERDINGEN, R.O. y FREEZE, R.A. (1.966). "Patterns of groundwater flow in seven discharge areas in Saskatchewan and Manitoba". Geol. Surv. of Canada, Dept. Mines and Tech. Surveys. Bull, 147 (1.966).
- MEMDES, F., FUSTER, J.M., IBARROLA, E. y FERNANDEZ SANTIN, (1.972). "L'age de quelques granites de la Sierra de Guadarrama (System Central Espagnol)". Rev. Fac. Cienc. Lisboa, 2<sup>a</sup> Serie-C, vol.XVII 1º, pp.345-365. Lisboa.
- MONTENEGRO, A. (1.906). "Alumbramientos de la provincia de Madrid". Bol. de la Com. del Mapa Geol. de España. T.XXVIII, pp.171-176. Madrid.
- MINGARRO, F. y MARFIL, R. (1.966). "Estudio de sedimentos detríticos del SE. de Guadarrama". N. y Com. del I.G.M.E., nº81, pp.21-51 Madrid.
- MOLINARI, J. (1.977). "Quelques remarques pratiques et une representation commode facilitant l'exploitation des variations naturelles en deuterium et en oxygen-18 dans les eaux". Journal of Hydrology, 32 (1.977), pp.383-392.
- M.O.P. - D.G.O.H. (1.966). "Resumen de Aforos (hasta 1.959-60). 3.- Cuencas del Tajo. Datos interanuales". Ediciones Centro de Estudios Hidrográficos. Madrid, 1.966.

- M.O.P. - D.G.O.H. (1.968). "Aforos. Cuenca del Tajo. Anuario 1.963-64". Reprografía. Servicio de Edición de la D.G.O.H. - M.O.P. Madrid.
- (1.969). "Aforos. Anuario 1.964-65. 3.- Cuenca del Tajo". Reprografía. Servicio de Edición de la D.G.O.H. - M.O.P. Madrid.
  - (1.970). "Datos interanuales. Apéndice del Resumen de Aforos (hasta 1.964-65). 3.- Cuenca del Tajo". Reprografía. Servicio de Edición de la D.G.O.H. - M.O.P. Madrid.
  - (1.971). "Aforos. 3.- Cuenca del Tajo. Anuario 1.965-66". Reprografía. Servicio de Edición de la D.G.O.H. - M.O.P. Madrid.
  - (1.971). "Plan nacional de abastecimiento y saneamiento". Ministerio de Obras Públicas. Madrid.
  - (1.972). "Aforos. Cuenca del Tajo. Anuario 1.966-67". Reprografía. Servicio de Edición de la Dirección General de Obras Hidráulicas - M.O.P. Madrid.
  - (1.973). "Aforos. Cuenca del Tajo. Anuario 1.967-68". Reprografía. Servicio de Edición de la D.G.O.H. - M.O.P. Madrid.
  - (1.974). "Aforos. Cuenca del Tajo : Anuario 1.968-69". Reprografía. Servicio de Edición de la D.G.O.H. - M.O.P. Madrid
  - (1.975). "Aforos. Cuenca del Tajo. Anuario 1.969-70". Reprografía. Servicio de Edición de la D.G.O.H. - M.O.P. Madrid.
  - (1.976). "Aforos. 3.- Cuenca del Tajo. Período 1.970-71 a 1.973-74". Reprografía. Servicio de Edición de la D.G.O.H. - M.O.P. Madrid.

- M.O.P. - C.E.H. (1.971). "Estudio hidrológico de los ríos Jarama, Guadarrama, Alberche, Tiétar y sus afluentes". M.O.P. - C.E.H. Madrid.
- M.O.P. - D.G.O.H. - C.E.H. (1.976). "Datos pluviométricos. Período 1.930 a 70. 3.- Cuenca del Tajo". Publicación n°117. Reprografía. Servicio de Edición del C.E.H. Madrid, 1.976.
- MUÑOZ DEL CASTILLO, J. (1.908 a). "Sobre la radiactividad extraordinaria del agua de un manantial de Valdemorillo". An. de la Soc. Esp. de Física y Química, año VI, T.VI, n°55, Madrid.
- (1.908 b). "Manantiales fríos radiactivos de la Sierra de Guadarrama". An. Soc. Esp. Fis. y Quim. año 1.908.
- OBERMAIER, H. y CARANDELL, J. (1.916). "Contribución al estudio del glaciario cuaternario de la Sierra de Gredos". Trab. Mus. Ciencias Naturales. Serie Geol. 14. pp.5 - 54.
- OBERMAIER, H., WERNERT, P. y PEREZ DE BARRADAS, J. (1.921). "El Cuaternario de las canteras de Vallecas (Madrid)". Bol. Inst. Geol. Esp. T.XLII, pp. 305-322. Madrid.
- OCTAVIO, F. (1.976). "Hidrogeología de la zona de Parla (Madrid)". I. Simp. Nac. de Hidrogeología. Vol.I. pp.254-273. Valencia, 1.976.
- ORDÓÑEZ, S. y GARCIA DEL CURA, M.A. (1.976). "Estudio de las facies detríticas del Terciario continental del sector oriental de la cuenca del Duero". Estud. Geol. n°32, pp. 179-188. Madrid.
- PARGA, J.R. y VEGAS, R. (1.971). " Problems and discussion on Precambrian series of the Hesperic Massif (Western Iberian Peninsula)". Geol. Rundschau 61, 1 pp.44-69.



- PRADO, DE C. (1.852). "Mapa geológico en bosquejo de la provincia de Madrid, E.1:400.000". I.G.M.E. Madrid, 1.853.
- (1.864). "Descripción física y geológica della provincia de Madrid". Junta General de Estadística. Madrid. Reeditado por el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 1.975.
- PEDRAZA GILSANZ, J. (1.973). "Estudio geomorfológico del extremo oriental de la cadena San Vicente - Peña de Cenicientos". Bol. Geol. y Minero. T.LXXXIV, 1.973. pp.1-14.
- (1.976). "Algunos procesos morfogenéticos recientes en el valle del río Alberche (sistema central español). La depresión de Aldea del Fresno-Almorox". Bol. Geol. y Min. T.LXXXVII-I. Año 1.976. pág.1-12.
- PEDRAZA, J., UBANELL, A.G. y LOPEZ VERA, F. (1.976). "Criterios para la ubicación y construcción de captaciones de agua en rocas ígneas y metamórficas del Macizo Central Español". I Simp. Nac. de Hidrogeología. Vol.I, pp.292-316. Valencia, 1.976.
- PEINADO MORENO, M. (1.970). "Caracter del metamorfismo en el macizo metamórfico de El Escorial-Villa del Prado". Est. Geol. vol.26, pp.323.
- (1.973). "Evolución metamórfica en el macizo El Escorial - Villa del Prado (Sistema Central Español)". Tesis Doct. Fac. Ciencias Geológicas. Univ. Complutense. Madrid.
- PEÑA, A. de la (1.876). "Reseña geológica de la provincia de Toledo". Bol. Com. Mapa Geol. Esp. T.III. pp.329-331. Madrid.

# 455

- PEREZ COSSIO, L. (1.913). "Sobre la posibilidad de hallar aguas artesianas. Estudio de una localidad perteneciente al término de Torrijos". Rev. Minera Metalúrgica de Ingeniería N.S. 2410 y 2411. T.LXIV. Madrid, 1.913.
- PEREZ DE BARRADAS, J. (1.923). "Algunos datos para el estudio de la climatología cuaternaria del valle del Tajo". Bol. Soc. Ib. de Ciencias Nat. Zaragoza.
- PEREZ GONZALEZ, A. y BERTOLIN PEREZ, M. (1.971). "Ensayo de bibliografía hidrogeológica de la depresión de Castilla La Nueva". Seminarios de Estratigrafía, 7, pp.43-60. Univ. de Madrid. C.S.I.C. Madrid, 1.971.
- PEREZ MATEOS, J. (1.952). "Estudio mineralógico de los materiales sedimentarios de Alcalá de Henares. Aportación al conocimiento de la petrografía de los terrenos terciarios". Anales de Edafología y Fisiología Vegetal, T.XI, n°2, pp.151-158. C.S.I.C. Madrid.
- (1.955). "Etude mineralogique comparée des formations sédimentaires du Tertiaire continental du bassin du Tage et du Plateau de la Guadiana".  
 y u Geologische Rundschau 43, 2. 1.955. Inst. de Edafología. Sección de Petrología Sedimentaria. C.S.I.C. Madrid.
- PEREZ MATEOS, J. y VAUDOUR, J. (1.972). "Estudio mineralógico y geomorfológico de las regiones arenosas al S. de Madrid". Est. Geol. vol.XXVIII, pp.201-208. Madrid.
- PEREZ REGODON, J. (1.970). "Guía geológica, hidrogeológica y minera de la provincia de Madrid". Mem. del I.G.M.E. T.76, pp.5-183. Madrid.

- PEREZ REGODON, J. y CHAMERO SANCHEZ, A. (1.962). "Estudio hidrogeológico de la zona Norte-Central de la provincia de Toledo". I.G.M.E. Informe de los autores citados al YRIDA. Inédito.
- PLATA, A. (1.972). "Isótopos en hidrología". Ed. Alhambra. Madrid.
- PLUKOWSKY, E.J. y KANTROWITZ, I.H. (1.964). "Hidrology of the Babylon-Islip area, suffolk county, long Island, New York". Geol. Surv. Water Supply Paper.
- PRICKETT, T.A. (1.965). "Type-curve solution to aquifer test under water-table conditions". Ground-Water. vol.3, nº3, pp.5-14.
- PRICKETT, T.A. y LONDQUIST, C.F. (1.971). "Selected digital computer techniques for ground-water resource evaluation". Bull. 55. Illinois State Water Survey, pp.62.
- QUIROGA, F. (1.887). "Excursión al cerro de Almodovar y a San Fernando". Bol. Inst. Libre de Enseñanza (28-II). nº241. pp.59-60. Madrid.
- (1.889). "Una expedición a Valdemorillo". Bol. Inst. Libre de Enseñanza. T.14, pp.247-249. Madrid, 1.890.
  - (1.890). "Yeso pseudomórfico de la calcita del canal del Manzanares y huecos de cristales de yeso en las arcillas terciarias". Act. Soc. Esp. Hist. Nat. T.XIX, pág.100. Madrid.
- REBOLLO FERREIRO, L.F. (1.977). "Estudio hidrogeológico regional de la cuenca media y baja del río Guadarrama". Tesis Doctoral. Inédito. Fac. de Ciencias Geológicas. U.C. Madrid.
- REBOLLO FERREIRO, L.F. y VILLARROYA, F.I. (1.976). "Capacidades específicas del Terciario detrítico de la cuenca del río Guadarrama". I. Simp. Nac. de Hidrogeología. T.I, pp.788-809. Valencia.

- RIBA, O. (1.957). "Terrases du Manzanares et du Jarama aux environs de Madrid". Livret guide de l'excursion C2. V Congres Internationale. INQUA. Madrid.
- RODRIGUEZ, A. (1.976). "Variación de la permeabilidad con respecto a la profundidad en el Terciario de Madrid". Inédito. Trabajo Práctico del X Curso de Hidrogeología "Noel Llopis". Departamento de Estratigrafía. Madrid.
- RORABAUGH, M.I. (1.953). "Graphycal and theoretical analysis of step drawdown test of artesian well". Proc. Am. Soc. Civil Eng. vol.79.
- ROQUERO DE LABURU, C. y GASCO MONTES, J.M. (1.976). "La calidad de las aguas de la cuenca media del Tajo". Rev. Provincia; año XXI, n°94. Extraordinario. Diputación Provincial de Toledo.
- ROYO Y GOMEZ, J. (1.917). "Datos para la geología de la submeseta del Tajo". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.XVII y pp.519-527. Madrid.
- (1.918). "Nuevos datos para la geología de la submeseta del Tajo". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.XVIII n°5, pp.255-258. Madrid.
  - (1.920). "La Sierra de Altomira y sus relaciones con la submeseta del Tajo". Trab. Mus. Nac. Cienc. Nat. Ser. Geol. n°27. Madrid.
  - (1.922). "El Mioceno continental ibérico y su fauna malacológica". Mem. Com. Inv. Pal. y Prehist. Madrid. Mem. 30 (ser. paleont.5) pág.230.
  - (1.923). "El Mioceno de Vallecas (Madrid) y comarcas próximas". Asociación Española para el Progreso de las Ciencias. Congreso de Salamanca. T.VI. pp. 107-120. Madrid.

- ROYO Y GOMEZ, J. (1.926 a). "Sobre geología de los alrededores de Toledo". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.XXVI. pp.217-218. Madrid.
- (1.926 b). "Edad de las formaciones yesíferas del Terciario Ibérico". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T. XXVI, pp.259-279. Madrid.
  - (1.926 c). "Tectónica del Terciario continental ibérico". XIV Congreso Geológico Internacional. 2º fasc. Bol. del I.G.M.E. T.XLVII, pp.129-168. Madrid.
  - (1.928 a). "El Terciario continental de la Cuenca del Tajo". Datos para el estudio de la geología de la provincia de Madrid. Cuenca terciaria del Alto Tajo, pp.15-89. Mapa Geológico de España E.1:50.000. Hoja nº560. Alcalá de Henares. I.G.M.E. Madrid, 1.929.
  - 1.928 b). "Sobre el llamado Cuaternario de la meseta Central". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.28, pp. 258-259. Madrid. Actas de la Sesión del 9.5.1.9288.
  - (1.928 c). "Sobre los aluviones de Torrelodones". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.XXVIII, pp.306-307. Madrid.
  - (1.929 a). "Los límites del Terciario y del Cuaternario en la cuenca alta del Tajo". Datos para el estudio de la geología de la provincia de Madrid. Mapa Geológico de España a escala 1:50.000. Hoja nº559. Madrid. I.G.M.E. Madrid, 1.929.
  - (1.929 b). "Datos para la geología de El Pardo". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.XXIX. pág.334. Madrid..
  - (1.929 c). "El torno del Tajo en Toledo". Mem. de la R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.XV. pp.491-502.

ROYO Y GOMEZ, J. (1.930 a). "Más sobre el llamado "diluvium de la provincia de Madrid". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.XXX, pp.146. Madrid.

- (1.930 b). "El torno del Tajo en Toledo (Contestación al Prof. Hernández Pacheco)". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.XXX, pp.119-122. Madrid.

- (1.930 c). "Contestación a las "Aclaraciones a las notas relativas al torno del Tajo en Toledo" del Sr. Hernández Pacheco, E". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.XXX, pp.196. Madrid.

- (1.934). "Sobre la tectónica de los aluviones dados anteriormente como diluviales". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.XXXIV, pág.82. Madrid, 1.934.

ROYO Y GOMEZ, J. y MENENDEZ PUGET, L. (1.928). "Explicación de la Hoja de Alcalá de Henares (Madrid)". Datos para el estudio de la geología de la provincia de Madrid. Cuenca Terciaria del Alto Tajo. pp. 91-184. Mapa Geológico de España, E.1:50.000. Hoja nº560. Alcalá de Henares. I.G.M.E. Madrid, 1.929.

- (1.929 a). "Explicación de la hoja geológica nº559, Madrid". Datos para el estudio de la geología de la provincia de Madrid. Mapa Geológico de España a escala 1:50.000. Hoja nº559, Madrid. I.G.M.E. Madrid, 1.929.

- (1.929 b). "Memoria explicativa de la hoja nº535, Algete". Mapa Geológico de España a escala 1:50.000. I.G.M.E. Madrid, 1.929.

RUBIO, C., VILLATE, E. y KINDELAN, A. (1.908). "Estudios hidrogeológicos. Provincia de Toledo. Zona del Alberche y Guadarrama en la cuenca del Tajo". Bol. Com. Mapa Geol. de España. T.XXIX. T.IX (2ª serie). Madrid.

- RUBIO, C. y KINDELAN, A. (1.909). "Continuación del estudio hidrológico de la cuenca del Tajo, al Norte de Madrid entre los ferrocarriles del Norte de España y de Madrid a Zaragoza". Bol. Com. Mapa Geol. España T.XXX (2ª serie T.X) Cuaderno 1º pp.9-30. Madrid, 1.910.
- RUIZ INIGUEZ, I. (1.923). "Aguas subterráneas y pozos artesianos". Valencia, 1.923.
- SAID SHAFIC NAMMARY (1.973). "Estudio del Cuaternario de la región de Talavera de La Reina (sector medio de la cuenca del Tajo)". Tesis de Licenciatura. Inédito. Fac. Ciencias Geológicas..U.C. Madrid.
- SAIZ GARCIA-CUENCA, J. y REBOLLO, L. (1.975). "Aportaciones subterráneas del Terciario detrítico de la cuenca del río Guadarrama". Tecniterrae, nº8, pp. 50-59.
- SAN JOSE LANCH, M.A. (1.971). "Síntesis hidrogeológica de la cuenca del Tajo". I.C.H.L.A.G.E. E-3-64, pp.659-677. T.II. sec.III. Madrid-Lisboa.
- SANCHEZ DE LA TORRE, J. (1.976). "Acuíferos y medios sedimentarios". Conferencia de clausura del X Curso de Hidrogeología "Noel Llopis". Hidrología, nº24/25, pp.51-58. Madrid.
- SANCHEZ LOZANO, R. y ALVAREZ ARAVACA, M. (1.906). "Estudios hidrogeológicos. Provincia de Madrid : zona entre los ferrocarriles de Madrid a Zaragoza y de Madrid a Cáceres y Portugal". Bol. Com. Mapa Geol. T.XXVIII (2ª serie T.VIII), pp.265-295. Madrid.
- SASTRE MERLIN, A. (1.975). "Estudio hidrogeológico del Cuaternario de la cuenca de los ríos Tajo y Alberche en las proximidades de Talavera de La Reina". Inédito. Tesis de Licenciatura. Fac. de Ciencias Geológicas. U.C. Madrid.

SASTRE MERLIN, A. (1.976 a). "Características hidrogeológicas de los materiales detríticos de edad terciaria y cuaternaria de los alrededores de Talavera de La Reina (Toledo)". I Simp. Nac. de Hidrogeología, T.I. pp.377-396. Valencia.

- (1.976 b). "Sobre la existencia de aguas salobres en los materiales detríticos terciarios y cuaternarios de los alrededores de Talavera de La Reina (Toledo)". I Simp. Nac. de Hidrogeología. T.I. pp. 436-449. Valencia.

SCHWENZNER, J.E. (1.936). "La morfología de la región montañosa central de la meseta española". Bol. de la R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.XLI, pp.121-147. Traducción de Vidal Box. Madrid.

SECCION DE GEOTECNIA Y PROSPECCIONES Y GEOEXPERTS, S.A. (1.975). "Estudio Previo de Terrenos. Autopista Madrid - Badajoz. Tramo Santa Olalla - Navalморal de La Mata". Estudio 74/3. Dirección General de Carreteras. M.O.P. Madrid.

SELLEY, R.C. (1.970). "Medios sedimentarios antiguos". Blume Ediciones. Madrid pp.27-57. Traducción de Alfredo Arche.

S.G.O.P. (1.959). "Informe sobre los sondeos para el estudio de la cementación de un puente sobre el río Tajo en Talavera de La Reina, en CC-503 de S. Martín de Valdeiglesias a Almadén". Inf. n°534. S.G.O.P. Madrid.

- (1.960). "Informe acerca de los sondeos realizados para estudio del terreno de cementación del cuenco amortiguador del azud de Cazalegas, en el río Alberche". Inf. n°3.566. Hoja 627. S.G.O.P. - M.O.P. Madrid.



- S.G.O.P. (1.976). "Nota sobre los recursos hidráulicos subterráneos de la provincia de Madrid". S.G.O.P. Madrid, 1.976.
- S.G.O.P., C.A.T. e I.N.T.E.C.S.A. (1.973). "Estudio de las relaciones entre las aguas superficiales y subterráneas de la zona comprendida entre las cuencas de los ríos Guadarrama y Henares". S.G.O.P. y C.A.T. M.O.P. Madrid.
- (1.975). "Estudio de recopilación y síntesis de los recursos hidráulicos de las cuencas bajas de los ríos Guadarrama y Jarama". S.G.O.P. y C.A.T. M.O.P. Madrid.
- S.G.O.P., C.A.T. y E.N.A.D.I.M.S.A. (1.976). "Estudio de recopilación y síntesis de los recursos hidráulicos de la cuenca del Alberche". Estudio 11-76. S.G.O.P. y C.A.T. M.O.P. Madrid.
- SOLE SABARIS, L. (1.954). "Geografía de España y Portugal". España. Geografía Física T.I. Ed. Montaner y Simon, S.A. Barcelona.
- TAMAIN, G. (1.975). "Megatectonique, lineaments et fracturation profonde dans la Meseta Iberica". Revue de Geographie Physique et de Geologie Dynam. (2), vol. XVII. Fasc.4, pp.375-392. Paris, 1.975.
- TEMPLADO MARTINEZ, D., MESEGUER PARDO, J., CANTOS SAIZ DE CARLOS, J. (1.942). "Memoria explicativa de la Hoja nº627. Talavera de La Reina". Mapa Geológico de España. E.1:50.000. I.G.M.E. Madrid.
- TEMPLADO MARTINEZ, D., MESEGUER PARDO, J. y CANTOS SAIZ DE CARLOS, J. (1.945 a). "Memoria explicativa de la Hoja nº603, Escalona". Mapa Geológico de España E.1:50.000 I.G.M.E. Madrid.

# 463

TEMPLADO MARTINEZ, D., MESEGUER PARDO, J. y CANTOS SAIZ DE CARLOS, J. (1.945 b). "Memoria explicativa de la Hoja n°628. Torrijos". Mapa Geológico de España E. 1:50.000 I.G.M.E. Madrid.

TEMPLADO MARTINEZ, D., MESEGUER PARDO, J. y CANTOS FIGUEROLA, J. (1.945). "Memoria explicativa de la Hoja n° 604. Villaluenga". Mapa Geológico de España E. 1:50.000. I.G.M.E. Madrid.

TOTH, J. (1.962). "A theory of groundwater motion in small drainage basins in Central Alberta, Canadá". Journal of Geophysical Research, Vol.67, n°11.

- (1.963). "A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins". Journal of Geophysical Research, Vol.68. n°16.
- (1.966 a). "Groundwater geology, movement, chemistry and resources near olds, Alberta". Res. Council Alberta, Bull. 17, 126 pág. Edmaiton.
- (1.966 b). "Mapping an interpretation of field phenomena for groundwater reconnaissance in a prairie environment. Alberta (Canada)". Bull. Int. Assoc. Sci. Hydrol. 9, pp.20-68. 1.966.
- (1.972). "Properties and manifestations of regional groundwater movement". 24<sup>th</sup> I.G.C. Section 11, pp. 153-163. Montreal, 1.972.

UBANELL, A.G. (1.976). "Los diques aplíticos de Almorox-Navamorcuende (Sistema Central Español) en relación con los "decrochements" dextrales tardihercínicos". Com. Serv. Portugal. T.IX. Lisboa.

- (1.977). "Significado estructural de los diferentes afloramientos graníticos en un área del Sistema Central Español". Bol. Geol. y Min. T.LXXXVIII-V. Año, 1.977, pp.365-370. Madrid.

# 464

- UBANELL, A.G. (1.978). "Comunicación personal"
- U.E.M.S.A. (1.964). "Embalse de Malpica. Proyecto de replanteo". Archivo de Unión Eléctrica.
- VAUDOUR, J. (1.975). "Encroutements, croutes et carapaces calcaires dans la region de Madrid". Mediterranée, n°2, pp.39-60. 1.975.
- VERNEUIL, E. de (1.866-67). "Sur le diluvium des environs de Madrid". Bol. Soc. Geol. France, 2ª ser. T. 24. pág.499. Paris.
- VERNEUIL, E. de Y COLLOMB.,E. (1.852). "Coup d'ocil sur la constitution geologique de quelques provinces de l'Espagne". Bull. Soc. Geol. France, 2ª serie, T.10, pp.61-147. Paris
- VERNEUIL, E. de y LARTET, I. (1.863). "Notes sur un silex taillé dans le dilluvium des environs de Madrid". Bull. Soc. Geol. France, 2ª serie. T.20, pág.698. Paris.
- VIDAL BOX, C. (1.942). "La línea morfotectónica meridional de la Sierra del Guadarrama". B.R.S.E.H.N. T. 40. pp.117-132. Madrid.
- VILANOVA, J. (1.875). "Salinas de Villarrubia de Santiago". Act. Soc. Esp. Hist, Nat. T.IV, pp.89-93. Madrid.
- VILANOVA, J. y PIERA (1.880). "Tratado de pozos artesianos y arte de alumbrar aguas".
- VILLARROYA GIL, F. (1.977). "Hidrogeología Regional del Neógeno detrítico y cuaternario de la cuenca del río Henares". Tesis Doctoral. Inédito. Fac. de C. Geológicas. Univ. Complutense de Madrid.

- VILLARROYA, F. y REBOLLO, L. (1.976). "Contribución al conocimiento hidrogeológico del Mioceno detrítico en la cuenca del río Henares". I Simp. Nac. de Hidrogeología. Vol.I. pp.421-435. Valencia.
- VOUTE, C. (1.966). "Note sur les etudes hydrogeologiques du bassin artésien de Madrid". Inédito. Leiden, 1.966.
- WALLICK, E.I. y TOTH, J. (1.975). "Methods of regional groundwater flow analysis with suggestions for the use of environmental isotopes". Interpretation of environmental isotope and hydrochemical data in ground-water hydrology, pp.37-64. IAEA. Viena, 1.976.
- WALTON, W.C. (1.960). "Application and limitation of methods for well and aquifer evaluation". Illinois Water Survey. Urbana, 1.962. 81 págs.
- (1.970). "Groundwater resource evaluation". Mc Graw Hill Book. Co. 1.970, 664 pág.

ADDENDA

- HITCHON, B. (1.969). "Fluid flow in the Western Canada sedimentary basin. Part. I : Effect of topography". Water Resource Research, vol.5, n°2, pp.460-469.
- LOPEZ VERA, F. y LLAMAS MADURGA, M.R. (1.976). "Tecnología de construcción de pozos de agua en el terciario detrítico de Madrid". Simposio Nacional de Rocas Blandas, T.II, pp.215-217. Madrid, 1.976.
- LOPEZ VERA, F. (1.977). "Geoquímica de las aguas del "Terciario detrítico" de la Fosa de Madrid, en relación con el flujo subterráneo". Estudios Geológicos, vol. 33. n°6 (en prensa).
- PEDRAZA, J. (1.978). Comunicación personal.

